

การประเมินสมรรถนะการชลประทานโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลนด้วยดัชนี Depleted Fraction และข้อมูลดาวเทียมจาก Google Earth Engine

Assessing Irrigation Performance of Bang Len Operation and Maintenance Project using Depleted Fraction Index and Satellite-derived Data from Google Earth Engine

ศรัณยู คุละสุวรรณ^{1,2} และ ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์^{2,*}

¹ สำนักชลประทานที่ 13 ต.ม่วงชุม อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

*Corresponding author; E-mail address: fengcpcc@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ดัชนี Depleted Fraction (DF) เป็นดัชนีชี้วัดสมรรถนะการชลประทาน ในด้านความเพียงพอของการส่งน้ำ สามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการใช้น้ำในพื้นที่ชลประทาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะการชลประทานในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน ช่วงปี พ.ศ. 2565-2567 โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งเข้าในพื้นที่ร่วมกับข้อมูลค่าการคายระเหยน้ำจริงรายเดือน (ETa) แบบกริดจาก Terra Climate และข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนจากดาวเทียม CHIRPS ซึ่งเรียกใช้งานผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine ผลการประเมินด้วยดัชนี DF พบว่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.65 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.5-0.7) สะท้อนถึงการใช้พื้นที่ที่มีประสิทธิภาพสูงต่อผลผลิตพืชและแสดงถึงสมดุลของการเก็บกักน้ำในดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่โครงการ อย่างไรก็ตามพบความแปรปรวนของค่า DF ตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยในช่วงฤดูแล้งค่า DF ส่วนใหญ่สูงกว่า 0.6 บางเดือนมีค่าสูงเกิน 1.0 บ่งชี้ว่าเกษตรกรอาจมีการสูบน้ำจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากระบบชลประทาน เช่น น้ำใต้ดินหรือแหล่งน้ำธรรมชาติในพื้นที่ ในขณะที่ช่วงฤดูฝนค่า DF ส่วนใหญ่ต่ำกว่า 0.6 แสดงถึงการมีน้ำส่วนเกินที่อาจถูกเก็บสะสมเป็นน้ำใต้ดินหรือไหลออกนอกระบบ การประเมินยังพบข้อจำกัดเนื่องจากในพื้นที่โครงการมีพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจำนวนมาก โดย ETa ในกรณีนี้เป็นการระเหยน้ำตามกระบวนการธรรมชาติซึ่งไม่ได้สะท้อนถึงผลผลิตจากการใช้น้ำในการผลิตพืช งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเพื่อประเมินสมรรถนะการจัดการน้ำในพื้นที่ต่างๆ โดยเฉพาะในเขตที่มีข้อจำกัดด้านข้อมูลในภาคสนาม ผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงแผนการส่งน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการในพื้นที่และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชในพื้นที่ชลประทาน

คำสำคัญ: ดัชนี Depleted Fraction, การรับรู้ระยะไกล, การจัดการน้ำชลประทาน

Abstract

Depleted Fraction (DF) is an indicator of irrigation performance that assesses water supply adequacy and reflects water use efficiency in irrigated schemes. This study aims to evaluate irrigation performance in the Bang Len Operation and Maintenance Project during 2022-2024 using irrigation water supply data combined with gridded monthly actual evapotranspiration (ETa) from Terra Climate and satellite-derived monthly precipitation from CHIRPS through the Google Earth Engine platform. The assessment revealed an average DF value of approximately 0.65, which falls within acceptable criteria (0.5-0.7), indicating efficient water use for crop production and balanced soil and groundwater storage in the project area. However, significant seasonal variations in DF values were observed, with dry season values typically exceeding 0.6, occasionally rising above 1.0, suggesting farmers may rely on alternative water sources such as groundwater or natural water bodies in the area. Conversely, during the rainy season, DF values were generally below 0.6, indicating excess water that may contribute to groundwater recharge or system outflow. The evaluation has limitations due to extensive aquaculture areas where ETa represents natural water evaporation rather than water productivity. This research demonstrates the potential of satellite-derived data for assessing irrigation water management performance, particularly in areas with limited field data availability. The findings can be applied to optimize water delivery plans and enhance crop production efficiency in irrigated areas.

Keywords: Depleted Fraction Index, Remote Sensing, Irrigation Water Management

1. คำนำ

ปัญหาสำคัญที่พบในการบริหารจัดการน้ำชลประทานในโครงการชลประทานหลายพื้นที่ คือความไม่เท่าเทียม (Inequity) ความไม่เพียงพอ (Inadequacy) และความไม่แน่นอน (Unreliability) ในการกระจายน้ำชลประทาน ปัจจัยเหล่านี้สร้างความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงทรัพยากรน้ำ ส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลงและลดความเชื่อมั่นของการจัดการน้ำภาครัฐ [1]-[3] การประเมินสมรรถนะทางชลประทานจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบชลประทาน ซึ่งการประเมินสมรรถนะทางชลประทานบ่งชี้ว่า เกษตรกรผู้ใช้น้ำในระบบชลประทานมีมุมมองต่อปริมาณน้ำที่ได้รับมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการในการเพาะปลูก มีแนวโน้มที่เกษตรกรจะดำเนินการเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [4] การประเมินสมรรถนะที่มีประสิทธิภาพยังช่วยให้ผู้บริหารจัดการน้ำสามารถระบุพื้นที่ที่มีปัญหาในการใช้น้ำเพื่อวางแผนปรับปรุงการจัดการน้ำได้อย่างตรงจุด [5]

ดัชนี Depleted Fraction (DF) เป็นเครื่องมือวัดสมรรถนะการชลประทานเพื่อประเมินความเพียงพอของการส่งน้ำและบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้น้ำในพื้นที่ชลประทาน โดยเป็นอัตราส่วนที่เปรียบเทียบองค์ประกอบสามประเภทของสมดุลน้ำในพื้นที่ชลประทาน [6] ดัชนีนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการวิจัยในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรน้ำโดยเชื่อมโยงระหว่างการคายระเหยน้ำจริง (Actual Evapotranspiration, ETa) ในพื้นที่ศึกษากับผลรวมของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำชลประทานที่ไหลเข้าสู่พื้นที่ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญในการใช้ดัชนี DF คือการวัดค่า ETa ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้โดยตรงในภาคสนาม จึงจำเป็นต้องหาข้อมูลทางเลือกที่เหมาะสมเพื่อประเมินค่า ETa ในพื้นที่ศึกษาอย่างแม่นยำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลและข้อมูลจากดาวเทียมผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการประเมินสมรรถนะการชลประทาน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านข้อมูลภาคสนาม GEE ช่วยให้สามารถเข้าถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ที่หลากหลายประเภท เช่น ข้อมูลการคายระเหยน้ำจริง ข้อมูลสภาพอากาศ และข้อมูลปริมาณน้ำฝน ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและครอบคลุมช่วงเวลายาวนาน การใช้ดัชนี DF ร่วมกับเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลในการประเมินสมรรถนะชลประทานได้รับความนิยมในต่างประเทศ งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าค่า DF สามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการจัดการน้ำในพื้นที่ชลประทาน [7], [8] ขณะที่การบูรณาการเทคนิคภูมิสารสนเทศและ GEE ทำให้ช่วยลดการพึ่งพาข้อมูลภาคสนามและประหยัดเวลาในการประเมิน [9] อย่างไรก็ตาม ในบริบทประเทศไทย การนำดัชนี DF และ GEE มาประยุกต์ใช้ยังมีอยู่อย่างจำกัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะการชลประทานในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน ในช่วงปี พ.ศ. 2565-2567 โดยใช้ดัชนี DF ร่วมกับข้อมูลจากแพลตฟอร์ม GEE เพื่อติดตามประสิทธิภาพการใช้น้ำในพื้นที่ และนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการจัดการน้ำชลประทานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

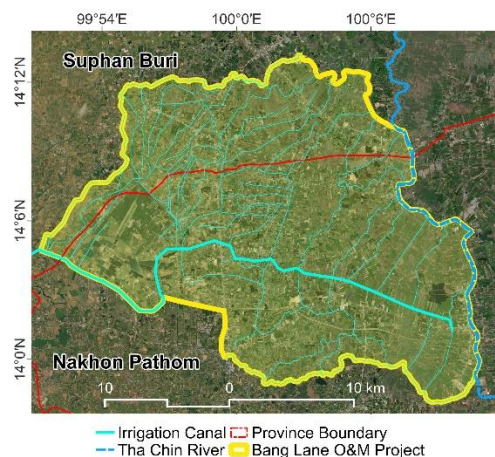
พื้นที่ศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน (รูปที่ 1) ครอบคลุมพื้นที่ในเขตอำเภอบางเลน อำเภอกำแพงแสน อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม และอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี มีพื้นที่โครงการทั้งหมด 371,375 ไร่ เป็นพื้นที่ชลประทาน 269,188 ไร่ สภาพการเพาะปลูกในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นการปลูกข้าวและอ้อย รวมทั้งมีการเพาะเลี้ยงปลาและกึ่งกระจายอยู่ทั่วไป โครงการมีระบบคลองส่งน้ำที่สำคัญคือ คลอง 2L-LMC ซึ่งระบายน้ำลงแม่น้ำท่าจีนและคลองท่าสาร-บางปลา

2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ข้อมูลปริมาณน้ำชลประทาน ข้อมูลการคายระเหยน้ำและข้อมูลฝน โดยสรุปรายละเอียดข้อมูลดังแสดงตารางที่ 1 และมีรายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 ปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งในโครงการ (Inflow)

ข้อมูลปริมาณน้ำชลประทานได้จากฝ่ายจัดสรรน้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน เป็นข้อมูลการส่งน้ำรายวันจากคลองหลัก 3 สาย ได้แก่ คลอง 2L-LMC, คลอง 8L-2L-LMC และคลอง 9L-2L-LMC ในช่วงปี พ.ศ. 2565-2567 โดยนำข้อมูลอัตราการไหลรายวัน (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ของทั้งสามคลองมารวมกันและคำนวณเป็นปริมาณน้ำรายเดือน (ล้านลูกบาศก์เมตร)



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน

2.2.2 ข้อมูลการคายระเหยน้ำ Potential Evapotranspiration (PET) และ Actual Evapotranspiration (AET) จาก TerraClimate

ข้อมูล PET และ AET ในการศึกษาได้มาจากชุดข้อมูล TerraClimate ซึ่งพัฒนาโดย University of Idaho เป็นข้อมูลแบบกริดความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 กิโลเมตร มีข้อมูลรายเดือนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1958 จนถึงปัจจุบัน ข้อมูล TerraClimate ใช้ข้อมูลสภาพอากาศรายเดือนจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น CRU (Climatic Research Unit), JRA-55 (Japanese Reanalysis), ERA5

(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) และข้อมูลจากดาวเทียม MODIS การเลือกใช้ข้อมูล TerraClimate ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากเป็นชุดข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (4 กิโลเมตร) และมีความต่อเนื่องของชุดข้อมูลยาวนาน รวมทั้งสามารถเข้าถึงได้ผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine

ค่า PET คำนวณโดยใช้สมการ Penman-Monteith โดยพิจารณาปัจจัยด้านพลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อเดือน (mm/month) ส่วนค่า AET คำนวณโดยใช้แบบจำลองสมดุลน้ำของ Thornthwaite and Mather ซึ่งพิจารณาปัจจัยด้านอุทกวิทยาและภูมิอากาศ เช่น ปริมาณน้ำฝน ศักยภาพระเหยคายน้ำและการกักเก็บน้ำในดิน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อเดือน (mm/month) เช่นเดียวกัน [10]

2.2.3 ข้อมูลฝน (Precipitation) จาก CHIRPS

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในการศึกษานี้มาจากชุดข้อมูล CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) ซึ่งพัฒนาโดย Climate Hazards Group (CHG) จาก University of California, Santa Barbara ข้อมูลแบบกริดความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 กิโลเมตร มีข้อมูลรายวันและรายเดือนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 จนถึงปัจจุบัน CHIRPS ใช้ข้อมูลจากหลายแหล่งในการคำนวณปริมาณน้ำฝน ได้แก่ ข้อมูลจากดาวเทียมอินฟราเรด (Infrared Data) จาก NOAA Climate Prediction Center (CPC) และ GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) โดยใช้เทคนิค Cold Cloud Duration (CCD) ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินจาก Global Historical Climatology Network (GHCN) และ WMO รวมถึงแบบจำลองสภาพอากาศของ NOAA Climate Forecast System (CFSv2) และ ERA5 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน (mm/day) สำหรับข้อมูลรายวัน และมิลลิเมตรต่อเดือน (mm/month) สำหรับข้อมูลรายเดือน การเลือกใช้ข้อมูล CHIRPS ในการศึกษาครั้งนี้เนื่องจากเป็นชุดข้อมูลที่มีการปรับแก้ด้วยข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน ทำให้มีความแม่นยำสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมเพียงอย่างเดียว อีกทั้งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ใกล้เคียงกับความละเอียดของข้อมูล TerraClimate รวมทั้งสามารถเข้าถึงได้ผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine [11]

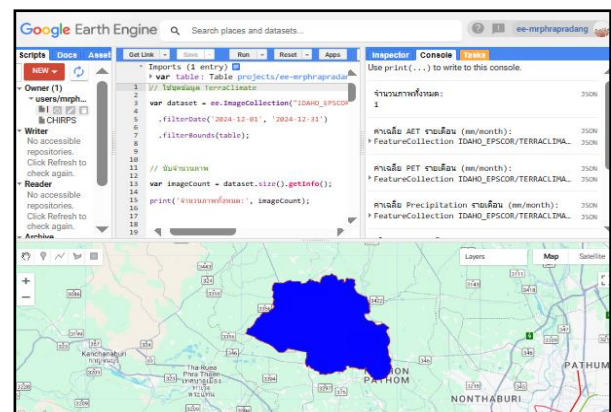
ตารางที่ 1 สรุปแหล่งที่มา ประเภท หน่วย และความถี่ของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ประเภท	ที่มา	ความถี่	หน่วย
ปริมาณน้ำ ชลประทาน	ฝ่ายจัดสรรน้ำโครงการส่ง น้ำและบำรุงรักษาบางเลน	รายวัน (คำนวณเป็นราย เดือน)	ลูกบาศก์เมตร ต่อวินาที, ล้าน ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณ น้ำฝน	CHIRPS ผ่าน Google Earth Engine	รายเดือน	มิลลิเมตรต่อ เดือน
การคาย ระเหยน้ำ จริง (ETa)	TerraClimate ผ่าน Google Earth Engine	รายเดือน	มิลลิเมตรต่อ เดือน
ศักยภาพ คายระเหย น้ำ (PET)	TerraClimate ผ่าน Google Earth Engine	รายเดือน	มิลลิเมตรต่อ เดือน

2.3 Google Earth Engine (GEE)

Google Earth Engine (GEE) เป็นแพลตฟอร์มคลาวด์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่และภาพถ่ายดาวเทียมขนาดใหญ่ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ GEE เป็นเครื่องมือหลักในการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูล AET จาก TerraClimate และข้อมูลปริมาณน้ำฝนจาก CHIRPS (รูปที่ 2)

การประมวลผลในแพลตฟอร์ม GEE ดำเนินการโดยใช้ภาษา JavaScript เพื่อสร้างโค้ดสำหรับดึงข้อมูล กรองตามช่วงเวลาและพื้นที่ศึกษา คำนวณค่าเฉลี่ยและสถิติเชิงพื้นที่ และสร้างแผนที่แสดงผล ข้อดีของ GEE คือ ความสามารถในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็วบนระบบคลาวด์ โดยไม่ต้องดาวน์โหลดข้อมูลมาประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัว ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้างและช่วงเวลายาวนานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 ตัวอย่างอินเทอร์เฟซของ Google Earth Engine (GEE)

2.4 การประเมินความถูกต้องของข้อมูลจาก Google Earth Engine

การศึกษานี้ได้ประเมินความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จาก Google Earth Engine โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยากรมอุตุนิยมวิทยา โดยวิเคราะห์จากความเที่ยง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) [12] ผ่านการใช้ดัชนีทางสถิติ 2 ค่า ได้แก่ PBIAS (Percent Bias) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) โดยค่าปริมาณน้ำฝนจาก CHIRPS ถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่ตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยากรมอุตุนิยมวิทยา ส่วนค่า PET จาก TerraClimate นำมาเปรียบเทียบกับค่า ETo ที่คำนวณจากสมการ Penman-Monteith โดยใช้พารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา (พลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม) ที่ตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยากรมอุตุนิยมวิทยา ทั้งนี้ ค่า AET ไม่สามารถวัดได้โดยตรงจากสถานีตรวจวัด ดังนั้นหากค่า PET มีความแม่นยำสูง จะสามารถอนุมานได้ว่าค่า AET ที่คำนวณจากแบบจำลองสมดุลน้ำซึ่งใช้ PET เป็นตัวแปรนำเข้าจะมีความน่าเชื่อถือเช่นกัน

ค่า r เป็นดัชนีวัดความเที่ยง (Precision) ของข้อมูลแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลสองชุด มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ค่า r ที่เข้าใกล้ 1 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูง ค่า r ที่เข้าใกล้ -1 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงลบที่

สูง และค่า r ที่เข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองชุดไม่มีความสัมพันธ์กัน ส่วนค่า PBIAS เป็นดัชนีวัดความแม่นยำ (Accuracy) ที่ใช้วัดว่าแนวโน้มของชุดข้อมูลที่คาดการณ์มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่สังเกตได้จริง ค่า PBIAS ที่เข้าใกล้ 0 % แสดงถึงความแม่นยำสูงของแบบจำลอง หากค่า PBIAS มีค่าเป็นบวกแสดงว่าแบบจำลองมีแนวโน้มประมาณค่าสูงเกินไป (Overestimation) และหากค่า PBIAS มีค่าเป็นลบ แสดงว่าแบบจำลองมีแนวโน้มประมาณค่าต่ำเกินไป (Underestimation) ค่า r และ PBIAS ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) และสรุปเกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 2

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2][\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2]}} \quad (1)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n S_i} \times 100\% \quad (2)$$

โดย

S_i คือ ค่าตรวจวัดจากสถานี (Station) ของกรมอุตุนิยมวิทยา

$\bar{S}$ คือ ค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดจากสถานี (Station) ของกรมอุตุนิยมวิทยา

G_i คือ ค่ากริด (Grid) จากชุดข้อมูล CHIRPS / TerraClimate

$\bar{G}$ คือ ค่าเฉลี่ยกริด (Grid) จากชุดข้อมูล CHIRPS / TerraClimate

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพตามค่า r และค่า PBIAS [13]

r	Rating	PBIAS	Rating
0.0 – 0.1	Very low	$PBIAS \leq \pm 10\%$	Very Good
0.1 – 0.3	Low	$\pm 10\% < PBIAS \leq \pm 15\%$	Good
0.3 – 0.5	Moderate	$\pm 15\% < PBIAS \leq \pm 25\%$	Satisfactory
0.5 – 0.7	High	$PBIAS \geq \pm 25\%$	Unsatisfactory
0.7 – 0.9	Very high		
0.9 – 1.0	Almost perfect		

2.5 คำนวณดัชนี Depleted Fraction (DF)

ดัชนี Depleted Fraction (DF) เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะการชลประทาน ที่แสดงถึงประสิทธิภาพการใช้น้ำในพื้นที่ชลประทาน DF คือ สัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ถูกใช้หมดไป (เช่น ผ่านการคายระเหย) กับปริมาณน้ำทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ (จากฝนและน้ำชลประทาน) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$DF = \frac{ETa}{(Pe + Vc)} \quad (3)$$

โดย

ETa คือ ข้อมูล AET จาก TerraClimate

Pe คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน จาก CHIRPS

Vc คือ ข้อมูลการส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน

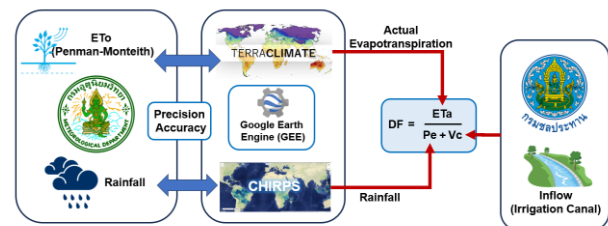
ค่า DF ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.7 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.6 [6] หากค่า DF น้อยกว่า 0.6 แสดงว่ามีน้ำส่วนเกินที่ถูกเก็บสะสมเป็น

น้ำใต้ดิน ในทางกลับกัน หากค่า DF มากกว่า 0.6 แสดงว่ามีการดึงน้ำจากแหล่งสะสมออกมาใช้ ทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลง

DF เป็นดัชนีที่มีประโยชน์ในการประเมินโครงการชลประทานเนื่องจากสามารถบ่งชี้ถึงความสมดุลของน้ำในระบบ ช่วยในการติดตามการกักเก็บน้ำใต้ดิน และนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำได้ นอกจากนี้

ค่า DF ยังช่วยให้เจ้าหน้าที่โครงการสามารถประเมินได้ว่ามีการใช้น้ำชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ และจำเป็นต้องปรับปรุงการส่งน้ำหรือระบบการระบายน้ำหรือไม่

ในงานวิจัยนี้ ค่า ETa ได้จากข้อมูล AET ของ TerraClimate ค่า Pe ได้จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของ CHIRPS และค่า Vc ได้จากข้อมูลการส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน โดยคำนวณเป็นรายเดือน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล กรอบแนวคิดในการประเมินสมรรถนะการชลประทานด้วยดัชนี Depleted Fraction โดยใช้ข้อมูลจาก Google Earth Engine แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดการประเมินสมรรถนะการชลประทานด้วยดัชนี Depleted Fraction โดยใช้ข้อมูลจาก Google Earth Engine

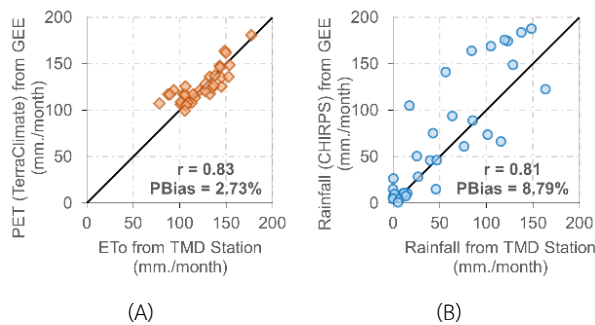
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการเปรียบเทียบค่า PET จากชุดข้อมูล TerraClimate ในแพลตฟอร์ม Google Earth Engine กับค่า PET ที่คำนวณจากสมการ Penman-Monteith โดยใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม (รูปที่ 4A) พบว่าค่า PET จาก GEE มีแนวโน้มสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเล็กน้อย โดยมีค่า PBIAS เท่ากับ 2.73 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($< \pm 10\%$) และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.83 ซึ่งจัดอยู่ในระดับความสัมพันธ์สูงมาก (0.7-0.9)

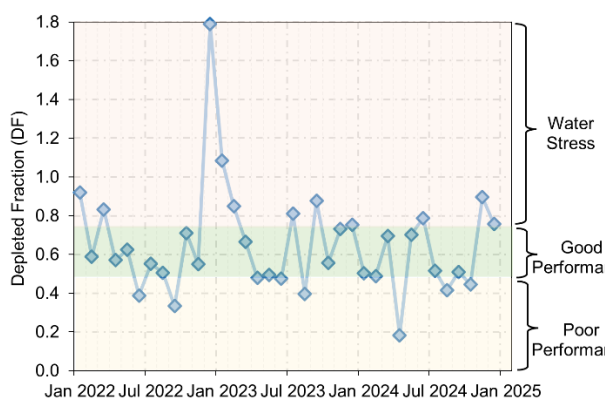
ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำฝนจากชุดข้อมูล CHIRPS ในแพลตฟอร์ม Google Earth Engine กับค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม (รูปที่ 3) พบว่าค่าปริมาณน้ำฝนจาก GEE มีแนวโน้มสูงกว่าค่าที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดเล็กน้อยแสดงในรูปที่ 4B โดยมีค่า PBIAS เท่ากับ 8.79 % ซึ่งยังคงอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($< \pm 10\%$) และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.81 ซึ่งจัดอยู่ในระดับความสัมพันธ์สูงมาก (0.7-0.9) เช่นเดียวกัน

ผลการคำนวณค่าดัชนี Depleted Fraction (DF) ในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลนดังแสดงในรูปที่ 5 มีความแปรปรวนไปตามฤดูกาลและเดือนต่างๆ โดยในปี พ.ศ. 2565 เดือนที่มีค่า DF ต่ำที่สุดคือเดือนกันยายน มีค่าเท่ากับ 0.33 และเดือนที่มีค่า DF สูงที่สุดคือเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 1.79 สำหรับ ปี พ.ศ. 2566 เดือนที่มีค่า DF ต่ำที่สุดคือเดือน

สิงหาคม มีค่าเท่ากับ 0.40 และเดือนที่มีค่า DF สูงที่สุดคือเดือนมกราคม มีค่าเท่ากับ 1.08 ส่วนปี พ.ศ. 2567 เดือนที่มีค่า DF ต่ำที่สุดคือเดือนเมษายน มีค่าเท่ากับ 0.18 และเดือนที่มีค่า DF สูงที่สุดคือเดือนพฤศจิกายน มีค่าเท่ากับ 0.90



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจาก GEE และสถานีอุตุนิยมวิทยา (A) ค่า PET (TerraClimate) กับค่า ETo (B) ค่าปริมาณน้ำฝน (CHIRPS) กับค่าน้ำฝนตรวจวัด



รูปที่ 5 ค่า DF รายเดือนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน ในช่วงปี พ.ศ. 2565-2567

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน) ค่า DF ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่า 0.6 ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าการใช้น้ำจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากน้ำฝนและน้ำชลประทาน เช่น น้ำใต้ดินหรือน้ำที่กลับมาใหม่ (Return Flow) โดยเฉพาะในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 ที่มีค่า DF สูงถึง 1.79 ซึ่งบ่งชี้ว่าในพื้นที่ที่มีความขาดแคลนน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน และแสดงให้เห็นว่าในพื้นที่อาจมีการใช้น้ำจากแหล่งอื่นเป็นจำนวนมาก หรืออาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า ETa ในพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม) ค่า DF ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 0.6 โดยเฉพาะในเดือนสิงหาคมและกันยายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนสูง แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่เข้าสู่ระบบมีมากกว่าความต้องการใช้น้ำของพืช ทำให้มีน้ำส่วนเกินที่อาจถูกเก็บสะสมเป็นน้ำใต้ดินหรือระบายทิ้งออกนอกพื้นที่ ซึ่งช่วงดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพการชลประทานค่อนข้างต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ของต่างประเทศ [14]-[16]

ค่า DF เฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ศึกษามีค่าประมาณ 0.65 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.5-0.7) [6] แสดงให้เห็นว่าโดยรวมแล้วการส่งน้ำในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลนเพียงพอ มีการใช้น้ำอย่างเหมาะสมต่อการผลิตพืช มีความสมดุลของการเก็บกักน้ำในดินและน้ำใต้ดิน และมีประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ชลประทานอื่นๆ ในภูมิภาคเอเชีย [8] อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าค่า DF ในบางเดือนมีค่าสูงมาก (> 1.0) ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมดุลน้ำ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ระเหยไปไม่ควรมากกว่าปริมาณน้ำที่เข้าสู่ระบบ ปรากฏการณ์นี้อาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่

1) พื้นที่โครงการฯ มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกระจายอยู่ในหลายจุด ทั้งนี้จากแผนการจัดสรรน้ำของโครงการฯ มีพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรวม 66,704 ไร่ คิดเป็น 24.78 % ของพื้นที่ชลประทาน ซึ่งอาจทำให้ค่า ETa ที่คำนวณได้สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากการระเหยของน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ได้สะท้อนถึงการใช้พื้นที่ทางการเกษตรอย่างแท้จริง

2) เกษตรกรอาจมีการสูบน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติในพื้นที่ เช่น คลองท่าสาร-บางปลา คลองสองพี่น้อง และแม่น้ำท่าจีน ซึ่งไม่ได้นับรวมในปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งเข้าระบบ

3) เกษตรกรอาจมีการใช้น้ำใต้ดินหรือน้ำที่กลับมาใหม่ (Return Flow) ในการเพาะปลูก โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่ปริมาณน้ำฝนและน้ำชลประทานไม่เพียงพอ

ดังนั้น แม้ว่าดัชนี DF จะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประเมินสมรรถนะการชลประทาน แต่การนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีรูปแบบการใช้ที่ดินซับซ้อน เช่น มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรวมกับการเพาะปลูกพืช จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วย เพื่อให้การประเมินมีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ได้ประเมินสมรรถนะการชลประทานในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน โดยใช้ดัชนี Depleted Fraction (DF) ร่วมกับข้อมูลจาก Google Earth Engine (GEE) ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลจาก GEE เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสถานีตรวจวัดพบว่ามีความสัมพันธ์กันสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.83 สำหรับข้อมูล PET และ 0.81 สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำฝน สอดคล้องกับงานวิจัยของต่างประเทศที่พบว่าข้อมูลจาก GEE สามารถนำมาใช้ประเมินสมรรถนะการชลประทานได้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลภาคสนาม โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 15 สำหรับการประเมินค่า DF [7] [9] ดัชนี DF ของโครงการมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.5-0.7) แสดงถึงการจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพโดยรวม แต่มีความแปรปรวนตามฤดูกาลอย่างชัดเจน ข้อค้นพบสำคัญคือในช่วงฤดูแล้งที่ค่า DF สูงกว่าเกณฑ์ปกติบ่งชี้ว่าเกษตรกรอาจพึ่งพาแหล่งน้ำอื่นนอกเหนือจากระบบชลประทาน เช่น น้ำใต้ดินหรือน้ำที่กลับมาใหม่ ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญสำหรับการวางแผนการจัดการน้ำในอนาคต นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในโครงการมีผลต่อการประเมินด้วยดัชนี DF เนื่องจากการระเหยน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ได้สะท้อนการใช้น้ำเพื่อผลิตพืชโดยตรง

สำหรับข้อเสนอแนะ ควรพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนภาวะขาดแคลนน้ำโดยใช้ดัชนี DF เป็นตัวชี้วัด เพื่อให้การจัดสรรน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินซับซ้อน ควรแยกวิเคราะห์ตามประเภทการใช้ที่ดิน โดยเฉพาะพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรวิเคราะห์แยกจากพื้นที่เพาะปลูกพืช และควรขยายการประยุกต์ใช้แนวทางการประเมินด้วย GEE ไปยังโครงการชลประทานอื่นๆ เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการจัดการน้ำชลประทานในวงกว้าง แนวทางนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการบริหารจัดการน้ำในประเทศที่มีข้อจำกัดด้านข้อมูลภาคสนาม

สำหรับแนวทางการศึกษาในอนาคตเพื่อแก้ไขข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรพิจารณาใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน (Land Use/Land Cover) ที่มีความละเอียดสูง เช่น การแปลผลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร เพื่อแยกพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำออกจากพื้นที่เพาะปลูกพืชอย่างชัดเจน จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่า DF แยกตามประเภทการใช้ที่ดิน โดยเน้นการประเมินสมรรถนะการชลประทานสำหรับพื้นที่เพาะปลูกพืชเป็นหลัก ซึ่งจะสะท้อนประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรได้แม่นยำยิ่งขึ้น รวมทั้งควรทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวอย่างเป็นระบบเพื่อระบุว่าการเปลี่ยนแปลงของแต่ละปัจจัย (ETa, Pe และ Vc) ส่งผลกระทบบต่อค่า DF มากน้อยเพียงใดปัจจัยใดมีความแปรปรวนมากที่สุดในสภาพพื้นที่จริง และศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อองค์ประกอบของดัชนี DF โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่ส่งผลต่อค่า ETa และ Pe อันจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของค่า DF ในระยะยาว ความเข้าใจในความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านี้จะช่วยให้สามารถคาดการณ์และวางแผนการจัดการน้ำชลประทานในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันอุทุนิยมวิทยานครปฐมที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน สำนักงานชลประทานที่ 13 ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการส่งน้ำในคลอง 2L-LMC คลอง 8L-2L-LMC และคลอง 9L-2L-LMC งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Akuriba, M. A., Haagsma, R., Heerink, N., and Dittoh, S. 2020. Assessing governance of irrigation systems: A view from below, *World Development Perspectives*, 19, 100197.
- [2] D'Exelle, B., Lecoutere, E., and Van Campenhout, B. 2012. Equity-Efficiency Trade-Offs in Irrigation Water Sharing: Evidence from a Field Lab in Rural Tanzania, *World Development*, 40(12), 2537–2551.
- [3] Fanadzo, M., Chiduza, C., Mkeni, P. N. S., van der Stoep, I., and Stevens, J. 2010. Crop production management practices as a cause for low water productivity at Zanyokwe Irrigation Scheme, *Water SA*, 36(1), 27–36.
- [4] Phali, L., Mudhara, M., Ferrer, S., and Makombe, G. 2022. Evaluation of water-user performance in smallholder irrigation schemes in KwaZulu-Natal Province, South Africa: A stochastic meta-frontier analysis, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1022410.
- [5] Poudel, U., Stephen, H., and Ahmad, S. 2021. Evaluating irrigation performance and water productivity using EETflux ET and NDVI, *Sustainability*, 13(14), 7967.
- [6] Bos, M. G., Burton, M. A., and Molden, D. J. 2005. *Irrigation and drainage performance assessment: Practical guidelines*. Wallingford, UK: CABI Publish, 2005.
- [7] Nikam, B. R., Garg, V., Thakur, P. K., and Aggarwal, S. P. 2020. Application of Remote Sensing and GIS in Performance Evaluation of Irrigation Project at Disaggregated Level, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(7), 979–997.
- [8] Mishra, S., Mahmood, V., and Durga Rao, K. H. V. 2022. Assessment of Irrigation Performance by Using Remote Sensing Techniques in Naryanpur Command Area, *India, Environment and Ecology Research*, 10(3), 370–384.
- [9] Mekonnen, Y. G., Alamirew, T., Tadesse, K. B., and Chukalla, A. D. 2024. Monitoring small-scale irrigation performance using remote sensing in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia, *Agricultural Water Management*, 300, 108928.
- [10] Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., and Hegewisch, K. C. 2018. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015, *Scientific Data*, 5, 1–12.
- [11] Funk, C. et al. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes, *Scientific Data*, 2, 1–21.
- [12] Temepattanapongsa, S. and Theprasit, C. 2015. Comparison and recalibration of equations for estimating reference crop evapotranspiration in Thailand, *Kasetsart Journal - Natural Science*, 49(5), 772–784.
- [13] de Oliveira-Júnior, J. F. et al. 2021. Rainfall in Brazilian Northeast via in situ data and CHLSA product: mapping, trends, and socio-environmental implications, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 1–19.

- [14] van Opstal, J. D., Neale, C. M. U., and Hipps, L. E. 2022. Evaluating the adaptability of an irrigation district to seasonal water availability using a decade of remotely sensed evapotranspiration estimates, *Agricultural Water Management*, 261, 107383.
- [15] Taghvaeian, S., Neale, C. M. U., Osterberg, J. C., Sritharan, S. I., and Watts, D. R. 2018. Remote Sensing and GIS Techniques for Assessing Irrigation Performance: Case Study in Southern California, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(6), 1–10.
- [16] Sawadogo, A., Kouadio, L., Traoré, F., Zwart, S. J., Hessels, T., and Gündoğdu, K. S. 2020. Spatiotemporal assessment of irrigation performance of the Kou Valley irrigation scheme in Burkina Faso using satellite remote sensing-derived indicators, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 484.