

ANALYSIS OF POTENTIAL IRRIGATION AREAS IN NAKHON SAWAN PROVINCE USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) AND ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

Boonnada MUTUTA^{1*}, Piphat SORNWONG¹ and Chavalek VANICHAVETIN¹

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Thailand;

boonnada.mu@ku.th (B. M.) (Corresponding Author)

ABSTRACT

This research aimed to: (1) assess the potential areas for irrigation development in Nakhon Sawan Province; (2) determine the weights of factors influencing irrigation potential using the Analytic Hierarchy Process (AHP); and (3) produce an irrigation suitability map by integrating the Geographic Information System (GIS) with the AHP technique. This study employed a spatial analysis approach using geospatial data obtained from the Land Development Department, the Royal Irrigation Department, the Department of Water Resources, and the Agri-Map database. Six criteria were considered in the analysis: land use, distance to water sources, slope, elevation, soil type, and average annual rainfall. The relative importance of these factors was determined using the Analytic Hierarchy Process based on the judgments of 15 experts. The derived weights were then integrated with GIS data through the Weighted Overlay technique to evaluate irrigation suitability. The results indicated that land use was the most influential factor, with a weight of 0.2784, followed by distance to water sources (0.2729), slope (0.2674), elevation (0.0759), soil type (0.0719), and average annual rainfall (0.0334). The pairwise comparison matrix achieved a Consistency Ratio (C.R.) of 0.084, indicating an acceptable level of consistency. The GIS-based suitability analysis revealed that 4,435,729.31 rai (77.00%) of the study area was classified as highly suitable (S1) for irrigation development, followed by unsuitable areas (N) accounting for 17.68%, moderately suitable areas (S2) accounting for 3.83%, and marginally suitable areas (S3) accounting for 1.49%. The findings demonstrate that integrating GIS with the Analytic Hierarchy Process provides a systematic and reliable approach for assessing irrigation potential. The resulting suitability map can serve as a valuable decision-support tool for irrigation planning, water resources management, and land-use planning, thereby enhancing agricultural productivity and promoting sustainable development in Nakhon Sawan Province.

Keywords: Irrigation Potential, Geographic Information System (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Irrigation Development, Nakhon Sawan Province

CITATION INFORMATION: Mututa, B., Sornwong, P., & Vanichavetin, C. (2026). Analysis of Potential Irrigation Areas in Nakhon Sawan Province Using Geographic Information System (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP). *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 33.

การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพการชลประทาน จังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และวิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

บุญนดา มุฑาตา^{1*}, พิพัฒน์ สอนวงษ์² และ ชวเลข วณิชเวทิน²

1 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; boonnada.mu@ku.th

(บุญนดา) (ผู้ประพันธ์บทความ)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาศักยภาพพื้นที่สำหรับการพัฒนาโครงการชลประทานในจังหวัดนครสวรรค์ 2) กำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพพื้นที่ชลประทานด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) และ 3) จัดทำแผนที่แสดงระดับศักยภาพพื้นที่ชลประทานโดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพื้นที่ โดยรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่จากกรมพัฒนาที่ดิน กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และระบบ Agri-Map ประกอบด้วยปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ชนิดดิน และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี จากนั้นกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัยด้วยวิธี AHP จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 คน และนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Weighted Overlay ในระบบ GIS

ผลการวิจัยพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุด มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.2784 รองลงมา ได้แก่ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (0.2729) ความลาดชัน (0.2674) ความสูงจากระดับน้ำทะเล (0.0759) ชนิดดิน (0.0719) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (0.0334) โดยผลการตรวจสอบความสอดคล้องของการเปรียบเทียบรายคู่มีค่า Consistency Ratio (C.R.) เท่ากับ 0.084 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่พบว่า จังหวัดนครสวรรค์มีพื้นที่ที่มีศักยภาพเหมาะสมมาก (S1) จำนวน 4,435,729.31 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 77.00 ของพื้นที่ศึกษา รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ที่ไม่เหมาะสม (N) ร้อยละ 17.68 พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) ร้อยละ 3.83 และพื้นที่เหมาะสมน้อย (S3) ร้อยละ 1.49 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นสามารถประเมินศักยภาพพื้นที่ชลประทานได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนพัฒนาโครงการชลประทาน การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรและสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืนของจังหวัดนครสวรรค์

คำสำคัญ: ศักยภาพพื้นที่ชลประทาน, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น, ระบบชลประทาน, จังหวัดนครสวรรค์

ข้อมูลการอ้างอิง: บุญนดา มุฑาตา, พิพัฒน์ สอนวงษ์ และ ชวเลข วณิชเวทิน. (2569). การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพการชลประทาน จังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และวิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 33.

บทนำ

จังหวัดนครสวรรค์เป็นจังหวัดสำคัญทางการเกษตรของภาคเหนือตอนล่าง และเป็นพื้นที่ต้นกำเนิดของแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากเป็นจุดบรรจบของแม่น้ำปิง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน บริเวณอำเภอเมืองนครสวรรค์ ส่งผลให้จังหวัดมีบทบาทสำคัญด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและการเกษตรของประเทศ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2565) พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่ม เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เช่น ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง ซึ่งล้วนต้องอาศัยน้ำเป็นปัจจัยหลักในการผลิต (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2561) ดังนั้น การพัฒนาแหล่งน้ำและระบบชลประทานจึงเป็นกลไกสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตร สร้างความมั่นคงด้านอาหาร และยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรในพื้นที่ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจังหวัดนครสวรรค์จะมีทรัพยากรน้ำที่อุดมสมบูรณ์และเป็นพื้นที่ต้นน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยา แต่ยังคงประสบปัญหาการบริหารจัดการน้ำอย่างต่อเนื่อง ทั้งปัญหาน้ำท่วมในช่วงฤดูฝนและการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะพื้นที่นอกเขตชลประทานซึ่งเกษตรกรยังไม่สามารถเข้าถึงแหล่งน้ำได้อย่างเพียงพอ ทำให้ต้องพึ่งพาน้ำฝนเป็นหลัก ส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรมีความไม่แน่นอนและเกิดความเสียหายเมื่อเกิดภาวะฝนทิ้งช่วงหรือภัยแล้ง (กรมชลประทาน, 2566ก) ขณะเดียวกัน จังหวัดนครสวรรค์ยังเป็นพื้นที่รองรับน้ำหลากจากลุ่มน้ำภาคเหนือ ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมซ้ำซากในหลายพื้นที่ สร้างความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรม ชุมชน และเศรษฐกิจของจังหวัด (กรมชลประทาน, 2566ข) จากสถานการณ์ดังกล่าว ทำให้เห็นว่าการพัฒนาโครงการชลประทานยังมีความจำเป็นอย่างยิ่ง แต่การคัดเลือกพื้นที่เพื่อดำเนินโครงการจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากหลายปัจจัยร่วมกัน ได้แก่ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ชนิดดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื่องจากแต่ละปัจจัยล้วนมีผลต่อความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของการพัฒนาโครงการ หากพิจารณาเพียงปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอาจทำให้การตัดสินใจคลาดเคลื่อนและไม่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง ปัจจุบันเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการรวบรวม จัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่จากหลายปัจจัยในรูปแบบแผนที่ (Longley et al., 2015) เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ซึ่งเป็นเทคนิคการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่สามารถกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้อย่างเป็นระบบและสามารถตรวจสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจได้ (Saaty, 1980) จะช่วยเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการประเมินศักยภาพของพื้นที่สำหรับการพัฒนาโครงการชลประทาน จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาเรื่อง "การวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ชลประทานของจังหวัดนครสวรรค์โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์" โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อ 1) ศึกษาพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาโครงการชลประทานในจังหวัดนครสวรรค์ 2) กำหนดน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพพื้นที่ชลประทานโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) และ 3) สร้างแผนที่แสดงระดับศักยภาพพื้นที่ชลประทานโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อให้ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนพัฒนาโครงการชลประทาน การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ตลอดจนสนับสนุนการพัฒนาภาคการเกษตรของจังหวัดนครสวรรค์ให้เกิดความมั่นคงและยั่งยืนในอนาคต

การทบทวนวรรณกรรม

การชลประทาน หมายถึง ระบบการจัดหา ควบคุม ส่ง และกระจายน้ำเพื่อสนับสนุนการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรอย่างเหมาะสม โดยการพิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาโครงการชลประทานไม่สามารถพิจารณาเฉพาะปริมาณน้ำเพียงปัจจัยเดียวได้ แต่จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลายด้านร่วมกัน ได้แก่ ความพร้อมของทรัพยากรน้ำ ลักษณะภูมิประเทศ ความลาดชัน ชนิดดิน ภูมิอากาศ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้งนี้ พื้นที่ศักยภาพการชลประทานหมายถึง พื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพและการใช้ประโยชน์ที่ดินสอดคล้องกับเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการพัฒนา

โครงการชลประทาน ทั้งในด้านเทคนิค การจัดการ และความยั่งยืนของทรัพยากร โดยแนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับแนวทางการประเมินความเหมาะสมของที่ดิน ซึ่งเป็นกระบวนการเปรียบเทียบคุณลักษณะของพื้นที่กับข้อกำหนดของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อจำแนกระดับความเหมาะสมของพื้นที่ออกเป็นระดับต่าง ๆ เช่น เหมาะสมมาก เหมาะสมปานกลาง เหมาะสมน้อย และไม่เหมาะสม (Wubalem, 2023)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System: GIS เป็นระบบที่ใช้ในการจัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลที่มีตำแหน่งอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ โดยสามารถนำข้อมูลหลายชั้น เช่น ชั้นข้อมูลความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ชนิดดิน ปริมาณน้ำฝน แหล่งน้ำ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน มาจัดให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน แล้วทำการวิเคราะห์ซ้อนทับเพื่อประเมินความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น GIS จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินศักยภาพพื้นที่ชลประทาน เนื่องจากสามารถจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่จำนวนมากจากหลายแหล่ง และสังเคราะห์ผลลัพธ์ออกมาเป็นแผนที่แสดงระดับศักยภาพของพื้นที่ ซึ่งช่วยให้การวางแผนพัฒนาโครงการชลประทานมีความชัดเจนและสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจได้จริง (Wubalem, 2023)

การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ หรือ Multi-Criteria Decision Analysis: MCDA/MCDM เป็นแนวคิดที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่ต้องพิจารณาหลายปัจจัยพร้อมกัน โดยเฉพาะการประเมินพื้นที่ศักยภาพการชลประทาน ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านทรัพยากรน้ำ ลักษณะภูมิประเทศ ดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อจำกัดเชิงพื้นที่ ปัจจัยแต่ละด้านมีระดับความสำคัญไม่เท่ากัน และอาจส่งผลต่อความเหมาะสมของพื้นที่ในลักษณะที่แตกต่างกัน การใช้แนวคิดการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์จึงช่วยให้สามารถกำหนดเกณฑ์ เปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ และสังเคราะห์ผลรวมของปัจจัยหลายด้านให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถตัดสินใจได้อย่างเป็นระบบและตรวจสอบได้ โดยเมื่อนำมาใช้ร่วมกับ GIS จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ให้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น (Paul et al., 2020; Anane et al., 2012)

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ หรือ Analytic Hierarchy Process: AHP เป็นวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่พัฒนาโดย Saaty เพื่อใช้ในการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจากการจัดโครงสร้างปัญหาออกเป็นลำดับชั้น ได้แก่ เป้าหมาย เกณฑ์หลัก เกณฑ์ย่อย และทางเลือก จากนั้นทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบเป็นรายคู่ เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดมีความสำคัญมากกว่ากันและมากกว่าในระดับใด โดยใช้มาตราส่วนพื้นฐาน 1–9 ซึ่งค่า 1 หมายถึงมีความสำคัญเท่ากัน และค่า 9 หมายถึงมีความสำคัญมากกว่าอย่างยิ่ง ผลจากการเปรียบเทียบจะถูกนำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของแต่ละปัจจัย และตรวจสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจด้วยค่า Consistency Ratio: C.R. โดยทั่วไปหากค่า C.R. ไม่เกิน 0.10 ถือว่าผลการเปรียบเทียบมีความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Saaty, 1990) จุดเด่นของ AHP คือสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมาวิเคราะห์ร่วมกันได้ รวมทั้งสามารถใช้ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในการกำหนดน้ำหนักของปัจจัยอย่างเป็นระบบ จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในงานประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ด้านเกษตรกรรมและชลประทาน (Saaty, 1990; Akinci et al., 2013)

การตรวจสอบความสอดคล้องของการให้คะแนนในกระบวนการ AHP เป็นขั้นตอนสำคัญที่ใช้ประเมินว่าการเปรียบเทียบปัจจัยเป็นรายคู่มีความสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) และอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: C.R.) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ $C.I. = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ โดย C.I. หมายถึง ดัชนีความสอดคล้องของเมทริกซ์การเปรียบเทียบ λ_{max} หมายถึง ค่าเอกลักษณะสูงสุดของเมทริกซ์การเปรียบเทียบ และ n หมายถึง จำนวนเกณฑ์หรือจำนวนรายการที่นำมาเปรียบเทียบในเมทริกซ์ ส่วนค่า C.R. คำนวณได้จาก $C.R. = C.I. / R.I.$ โดย R.I. หมายถึง ดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเมทริกซ์เปรียบเทียบ ทั้งนี้ ค่า C.R. ที่ไม่เกิน 0.10 แสดงว่าข้อมูลจากการเปรียบเทียบมีความสอดคล้องและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ (Saaty, 1990)

การบูรณาการ GIS ร่วมกับ AHP เป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ เนื่องจาก AHP ทำหน้าที่กำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยจากการเปรียบเทียบรายคู่ ขณะที่ GIS ทำ

หน้าที่จัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ ปรับมาตรฐานข้อมูล และซ้อนทับข้อมูลแบบถ่วงน้ำหนักเพื่อสร้างแผนที่ผลลัพธ์ กระบวนการดังกล่าวโดยทั่วไปประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดปัจจัยและเกณฑ์ย่อย 2) การกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัยด้วย AHP 3) การปรับข้อมูลเชิงพื้นที่ให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน และ 4) การซ้อนทับข้อมูลแบบถ่วงน้ำหนักเพื่อจำแนกระดับศักยภาพของพื้นที่ ผลลัพธ์สุดท้ายมักแสดงในรูปแบบแผนที่ระดับความเหมาะสม เช่น เหมาะสมมาก เหมาะสมปานกลาง เหมาะสมน้อย และไม่เหมาะสม (Wubalem, 2023; Akinci et al., 2013) ในบริบทของการศึกษาพื้นที่ชลประทาน การใช้ GIS-AHP ช่วยให้สามารถนำปัจจัยด้านความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ชนิดดิน ปริมาณน้ำฝน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน มาวิเคราะห์ร่วมกันภายใต้กรอบการตัดสินใจเดียวกัน จึงเหมาะสมกับการศึกษาศักยภาพพื้นที่ชลประทานของจังหวัดนครสวรรค์ (Wubalem, 2023; Paul et al., 2020)

จังหวัดนครสวรรค์เป็นพื้นที่สำคัญของลุ่มน้ำเจ้าพระยา เนื่องจากเป็นจุดบรรจบของแม่น้ำปิง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน ก่อนรวมเป็นแม่น้ำเจ้าพระยา ทำให้จังหวัดมีบทบาทสำคัญต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ ทั้งด้านการเกษตร การอุปโภคบริโภค และการป้องกันอุทกภัย (กรมทรัพยากรน้ำ, 2565) พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดเป็นพื้นที่ราบลุ่มและพื้นที่เกษตรกรรม จึงมีความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกในปริมาณสูง โดยเฉพาะการปลูกข้าวและพืชเศรษฐกิจสำคัญของภาคเหนือตอนล่าง (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2561) อย่างไรก็ตาม จังหวัดนครสวรรค์ยังคงประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยในช่วงฤดูฝนมักได้รับอิทธิพลจากน้ำหลากจากพื้นที่ภาคเหนือ ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มต่ำและพื้นที่เกษตรกรรม ขณะที่ในช่วงฤดูแล้ง พื้นที่นอกเขตชลประทานจำนวนมากยังประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากข้อจำกัดของระบบส่งน้ำและแหล่งเก็บกักน้ำ ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรและรายได้ของเกษตรกร (กรมชลประทาน, 2566ก; กรมชลประทาน, 2566ข)

สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (2561) ระบุว่า การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาจำเป็นต้องอาศัยการวางแผนเชิงพื้นที่และการบูรณาการข้อมูลหลายด้านร่วมกัน ทั้งข้อมูลทรัพยากรน้ำ สภาพภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และโครงสร้างพื้นฐานด้านชลประทาน เพื่อให้สามารถกำหนดแนวทางพัฒนาแหล่งน้ำและระบบชลประทานได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืน นอกจากนี้ กรมทรัพยากรน้ำ (2565) ยังเสนอว่า การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ามาสนับสนุนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยง พื้นที่ขาดแคลนน้ำ และพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาแหล่งน้ำหรือโครงการชลประทานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการบูรณาการ GIS ร่วมกับ AHP ในการศึกษาครั้งนี้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินพื้นที่ศักยภาพและการบริหารจัดการน้ำพบว่า การวิเคราะห์พื้นที่ชลประทานจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลหลายปัจจัยร่วมกัน ทั้งด้านกายภาพ ทรัพยากรน้ำ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดย ประสูตร แก้วนิ่ม (2568) ศึกษาการจัดการน้ำท้องถิ่นแบบมีส่วนร่วมขององค์กรผู้ใช้น้ำรอบบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ ตามหลักการบริหารนิยธรรม ผลการศึกษาพบว่า การมีส่วนร่วมของประชาชนและองค์กรผู้ใช้น้ำมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ ทั้งด้านการวางแผน การกำหนดกติกาการใช้น้ำ และการประสานงานกับหน่วยงานภาครัฐ งานวิจัยดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้น้ำควบคู่กัน

นอกจากนี้ Akinci et al. (2013) ศึกษาการวิเคราะห์ความเหมาะสมของการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรในเขต Yusufeli ประเทศตุรกี โดยใช้ GIS ร่วมกับ AHP ภายใต้เกณฑ์ด้านภูมิประเทศและดินจำนวน 9 ปัจจัย ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง และมีพื้นที่ที่เหมาะสมมากเพียงร้อยละ 0.4 ของพื้นที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่าการคัดเลือกพื้นที่เกษตรหรือพื้นที่ชลประทานจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์หลายปัจจัยร่วมกันอย่างเป็นระบบ ขณะที่ Anane et al. (2012) ศึกษาการจัดลำดับพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้น้ำทิ้งบำบัดเพื่อการชลประทานในภูมิภาค Nabeul-Hammamet ประเทศตูนิเซีย โดยใช้ GIS ร่วมกับ AHP-MCDA ผลการศึกษาพบว่า

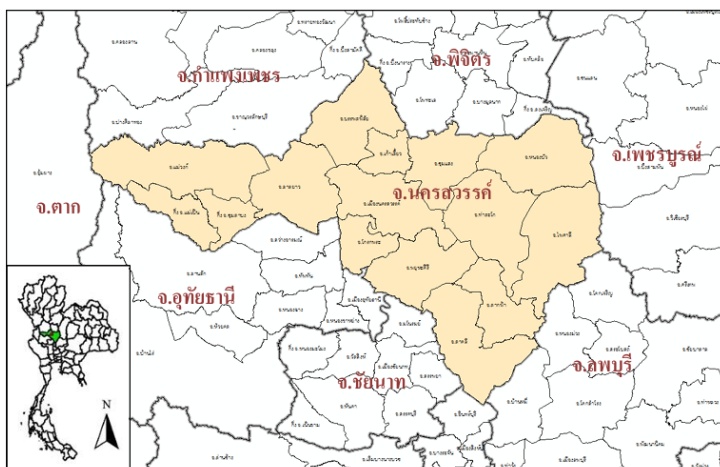
Paul et al. (2020) ศึกษาความเหมาะสมของพื้นที่เกษตรสำหรับการชลประทานด้วยน้ำใต้ดินแล้วที่ผ่านการบำบัดในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา โดยใช้ GIS-MCDA ร่วมกับ AHP ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวสามารถใช้สร้างแผนที่ศักยภาพพื้นที่ได้อย่างครอบคลุมในระดับพื้นที่ขนาดใหญ่ และเสนอให้มีการทดสอบความไวของน้ำหนักปัจจัยเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ส่วน Wubalem (2023) ศึกษาความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับชลประทานแบบผิวดินในเขต Belesa ประเทศเอธิโอเปีย โดยใช้ GIS-AHP และ weighted overlay ภายใต้ปัจจัย 8 ด้าน ได้แก่ ชนิดดิน ความลึกดิน เนื้อดิน การระบายน้ำ ความลาดชัน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และการใช้ที่ดิน ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ร้อยละ 13.9 เหมาะสมมาก และร้อยละ 46.9 เหมาะสมปานกลาง แสดงให้เห็นว่าวิธี GIS-AHP สามารถจำแนกระดับศักยภาพพื้นที่ชลประทานได้ชัดเจนและสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง

ในทำนองเดียวกัน Abuzaid and El-Husseiny (2022) ศึกษาความเหมาะสมของพืชภายใต้ระบบชลประทานขนาดย่อยในพื้นที่แห้งแล้งทางตะวันตกของลุ่มน้ำไนล์ ประเทศอียิปต์ โดยบูรณาการ AHP ร่วมกับ GIS เพื่อสร้างแผนที่ความเหมาะสมของพืชภายใต้ระบบชลประทานแบบสปริงเกลอร์และแบบหยด ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำชลประทานและคุณสมบัติดินเป็นปัจจัยที่มีน้ำหนักสูง ขณะที่ความลาดชันเป็นข้อจำกัดสำคัญของพืชบางชนิด แสดงให้เห็นว่าลำดับความสำคัญของปัจจัยอาจแตกต่างกันไปตามบริบทของพื้นที่ศึกษาและรูปแบบการชลประทาน จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า การประเมินศักยภาพพื้นที่ชลประทานควรใช้แนวทางการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัย โดยประยุกต์ใช้ GIS ร่วมกับ AHP เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยและสร้างแผนที่แสดงระดับศักยภาพของพื้นที่ ซึ่งเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาศักยภาพพื้นที่ชลประทานของจังหวัดนครสวรรค์ในครั้งนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีศักยภาพสำหรับการพัฒนาโครงการชลประทานในจังหวัดนครสวรรค์

พื้นที่ศึกษาคอบคลุมทั้งจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 5,761,049.63 ไร่ ตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย มีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบลุ่มสลับกับพื้นที่ภูเขาทางด้านตะวันตก และเป็นพื้นที่ต้นกำเนิดแม่น้ำเจ้าพระยา ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บริเวณอาณาเขตติดต่อจังหวัดนครสวรรค์

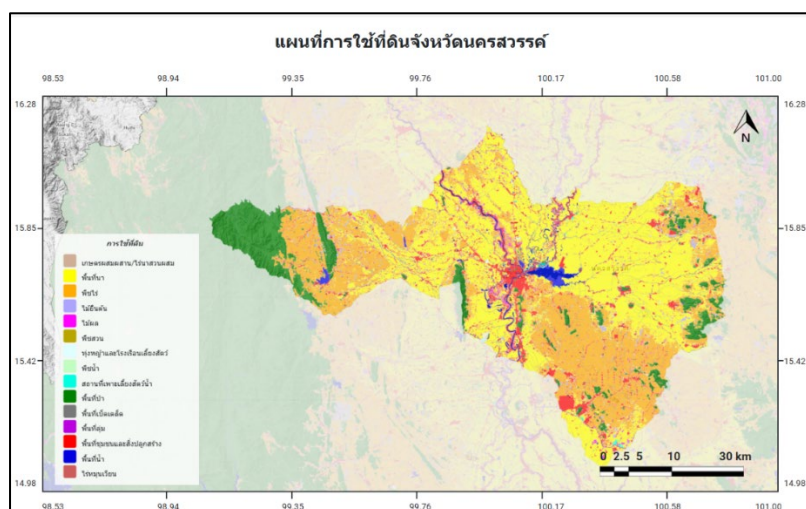
(ที่มา: สำนักบริหารโครงการ, 2562)

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และระบบ Agri-Map ประกอบด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ลำน้ำและแหล่งน้ำ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลาดชัน ชนิดดิน และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินใช้สำหรับพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ข้อจำกัด ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนที่แหล่งน้ำและระบบลำน้ำจังหวัดนครสวรรค์

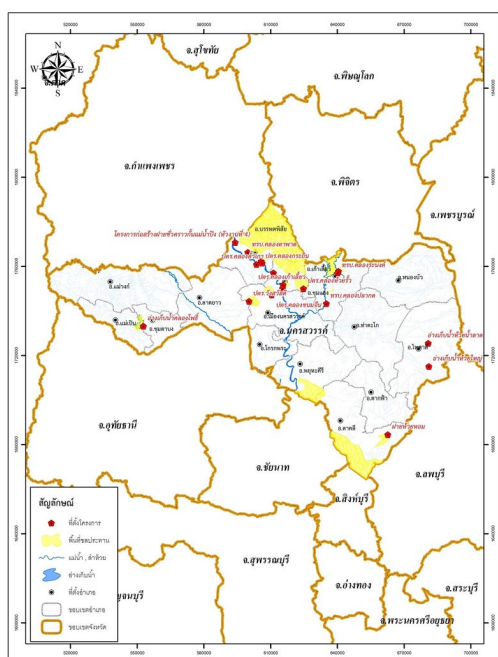
ข้อมูลลำน้ำและแหล่งน้ำธรรมชาติใช้ในการวิเคราะห์ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญของการพัฒนาระบบชลประทาน ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดนครสวรรค์

(ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน, 2565)

นอกจากนี้ ยังใช้ข้อมูลโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลางในปัจจุบัน เพื่อประกอบการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่และตรวจสอบความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 4

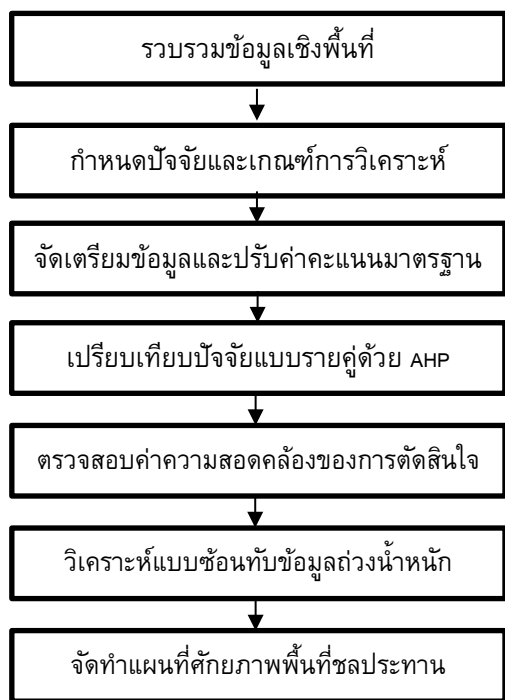


ภาพที่ 4 แผนที่โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลางในปัจจุบัน

จากนั้น ผู้วิจัยจัดเตรียมข้อมูลทั้งหมดให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน และกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ จำนวน 6 ปัจจัย ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ชนิดดิน และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี โดยกำหนดพื้นที่ป่าอนุรักษ์ พื้นที่ชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านกายภาพ เป็นพื้นที่ข้อจำกัด (Exclusion Criteria)

การกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัยดำเนินการด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) โดยใช้แบบสอบถามเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 คน ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญถูกรวมด้วยค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) ก่อนคำนวณค่าน้ำหนัก (Eigenvector) และตรวจสอบความสอดคล้องของเมทริกซ์ด้วยค่า Consistency Ratio (C.R.) โดยกำหนดให้ค่า C.R. ไม่เกิน 0.10

เมื่อได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยแล้ว ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Weighted Overlay ในระบบ GIS เพื่อจัดทำแผนที่แสดงระดับศักยภาพพื้นที่ชลประทาน โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยสรุปดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังกระบวนการวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ชลประทานด้วย GIS-AHP

ผลการวิจัย

1) ผลการวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้วยวิธี AHP

ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) พบว่า เมทริกซ์เปรียบเทียบรายคู่มีค่า λ_{max} เท่ากับ 4.227 ค่า Consistency Index (C.I.) เท่ากับ 0.076 และค่า Consistency Ratio (C.R.) เท่ากับ 0.084 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.10 แสดงว่าการให้ค่าน้ำหนักของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องกันในระดับที่ยอมรับได้ และสามารถนำค่าน้ำหนักไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ได้ ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัย พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าน้ำหนักสูงที่สุด เท่ากับ 0.278441 คิดเป็นร้อยละ 27.84 รองลงมา ได้แก่ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ มีค่าน้ำหนัก 0.272932 คิดเป็นร้อยละ 27.29 ความลาดชัน มีค่าน้ำหนัก 0.267406 คิดเป็นร้อยละ 26.74 ความสูงจากระดับน้ำทะเล มีค่าน้ำหนัก 0.075928 คิดเป็นร้อยละ 7.59 ชนิดดิน มีค่าน้ำหนัก 0.071922 คิดเป็นร้อยละ 7.19 และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี มีค่าน้ำหนัก 0.033371 คิดเป็นร้อยละ 3.34 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพพื้นที่ชลประทานจากการวิเคราะห์ AHP

ปัจจัย	น้ำหนัก	ร้อยละ	ลำดับความสำคัญ
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.278441	27.84	1
ระยะห่างจากแหล่งน้ำ	0.272932	27.29	2
ความลาดชัน	0.267406	26.74	3
ความสูงจากระดับน้ำทะเล	0.075928	7.59	4
ชนิดดิน	0.071922	7.19	5
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี	0.033371	3.34	6
รวม	1.000000	100.00	-

2) ผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพการชลประทานด้วย GIS-AHP

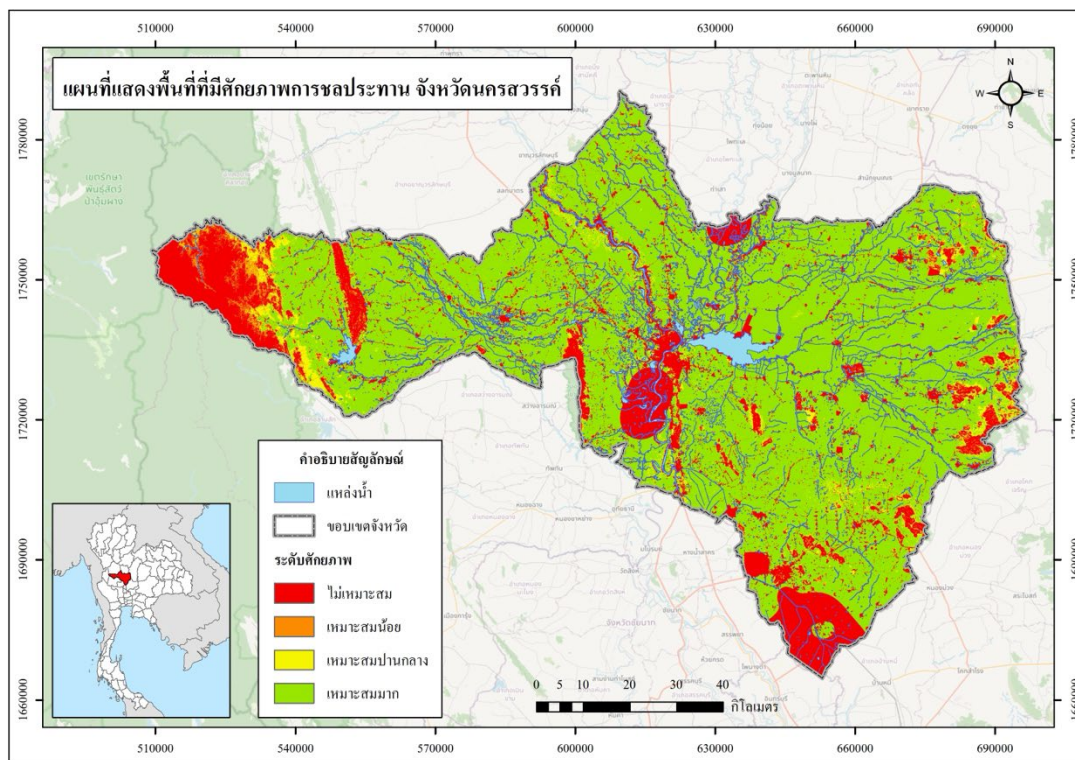
ผลการวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ชลประทานโดยบูรณาการค่าน้ำหนักจากกระบวนการ AHP ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่แบบ Weighted Overlay ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) พบว่า จังหวัดนครสวรรค์สามารถจำแนกระดับศักยภาพพื้นที่ชลประทานออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เหมาะสมมาก (S1) พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) พื้นที่เหมาะสมน้อย (S3) และพื้นที่ไม่เหมาะสม (N) ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 6

จากตารางที่ 21 พบว่า พื้นที่เหมาะสมมาก (S1) มีเนื้อที่ 4,435,729.31 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 77.00 ของพื้นที่ศึกษา รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ไม่เหมาะสม (N) มีเนื้อที่ 1,018,648.13 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.68 พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) มีเนื้อที่ 220,885.88 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.83 และพื้นที่เหมาะสมน้อย (S3) มีเนื้อที่ 85,786.31 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.49 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

พื้นที่ที่จัดอยู่ในระดับไม่เหมาะสม (N) เป็นพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการพัฒนาโครงการชลประทาน ได้แก่ พื้นที่ป่าอนุรักษ์ พื้นที่ชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ซึ่งถูกกำหนดเป็นพื้นที่ข้อจำกัด (Exclusion Criteria) ในการวิเคราะห์ จึงไม่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาโครงการชลประทาน ทั้งนี้ ผลการจำแนกพื้นที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับของความเหมาะสม (S1-S3) และพื้นที่ไม่เหมาะสม (N) โดยไม่ปรากฏพื้นที่ในระดับคะแนน 2 และ 1 เนื่องจากหลังการกำหนดพื้นที่ข้อจำกัดและการวิเคราะห์แบบ Weighted Overlay ไม่พบพื้นที่ที่มีค่าดัชนีอยู่ในช่วงดังกล่าว

ตารางที่ 2 ผลการจำแนกระดับศักยภาพพื้นที่ชลประทานของจังหวัดนครสวรรค์

S	ค่าคะแนน	ระดับศักยภาพ	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละ
S1	5	เหมาะสมมาก	4,435,729.31	77.00
S2	4	เหมาะสมปานกลาง	220,885.88	3.83
S3	3	เหมาะสมน้อย	85,786.31	1.49
N	0	ไม่เหมาะสม	1,018,648.13	17.68
รวม			5,761,049.63	100.00



ภาพที่ 5 แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีศักยภาพการชลประทาน จังหวัดนครสวรรค์

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาศักยภาพพื้นที่สำหรับการพัฒนาโครงการชลประทานในจังหวัดนครสวรรค์ โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) สามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ผลการศึกษาพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุดในการประเมินศักยภาพพื้นที่ชลประทาน โดยมีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.278441 หรือคิดเป็นร้อยละ 27.84 รองลงมา ได้แก่ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.272932 หรือร้อยละ 27.29 ความลาดชัน มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.267406 หรือร้อยละ 26.74 ความสูงจากระดับน้ำทะเล มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.075928 หรือร้อยละ 7.59 ชนิดดิน มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.071922 หรือร้อยละ 7.19 และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.033371 หรือร้อยละ 3.34 ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของเมทริกซ์เปรียบเทียบรายคู่พบว่า ค่า Consistency Ratio (C.R.) เท่ากับ 0.084 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ 0.10 แสดงให้เห็นว่าการให้ค่าน้ำหนักของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องกันและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ได้อย่างน่าเชื่อถือ ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด เนื่องจากการพัฒนาโครงการชลประทานมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนพื้นที่เกษตรกรรมเป็นสำคัญ ดังนั้นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอยู่แล้วจึงมีความเหมาะสมต่อการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานมากกว่าพื้นที่ประเภทอื่น อีกทั้งการใช้ประโยชน์ที่ดินยังสะท้อนถึงศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากน้ำหลังการก่อสร้างโครงการชลประทาน ซึ่งหากพื้นที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกอยู่แล้ว จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ทันที จึงทำให้ปัจจัยดังกล่าวได้รับค่าน้ำหนักสูงสุดในการประเมิน ในขณะเดียวกัน ระยะห่างจากแหล่งน้ำได้รับค่าน้ำหนักเป็นอันดับสอง เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการชลประทาน ทั้งในด้านวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ พื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ หรือระบบส่งน้ำเดิม จะ

มีต้นทุนการก่อสร้างระบบส่งน้ำต่ำกว่าพื้นที่ที่อยู่ห่างไกล อีกทั้งยังสามารถบริหารจัดการน้ำได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากกว่า ส่งผลให้ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับปัจจัยดังกล่าวในระดับสูง สำหรับปัจจัยด้านความลาดชันได้รับค่าน้ำหนักเป็นอันดับสาม เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศมีผลต่อการไหลของน้ำ การออกแบบระบบส่งน้ำ และต้นทุนในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านชลประทาน พื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำสามารถกระจายน้ำได้ง่าย ลดการสูญเสีย และลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ขณะที่พื้นที่ลาดชันสูงมักต้องใช้งบประมาณในการพัฒนาโครงการสูงกว่า จึงได้รับค่าน้ำหนักรองจากการใช้ประโยชน์ที่ดินและระยะห่างจากแหล่งน้ำ ส่วนปัจจัยด้านความสูงจากระดับน้ำทะเล ชนิดดิน และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ได้รับค่าน้ำหนักค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่น เนื่องจากจังหวัดนครสวรรค์มีลักษณะพื้นที่ราบลุ่มเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ความแตกต่างของระดับความสูงไม่มากนัก ขณะที่ชนิดดินส่วนใหญ่ยังสามารถรองรับกิจกรรมทางการเกษตรได้ ส่วนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีแม้จะมีความสำคัญต่อการเพาะปลูก แต่ในการประเมินศักยภาพพื้นที่ชลประทาน ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือบริหารจัดการได้ เช่น การเข้าถึงแหล่งน้ำและการใช้ประโยชน์ที่ดิน มากกว่าปัจจัยด้านภูมิอากาศที่มีความผันแปรตามธรรมชาติ ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Yegizaw and Ejegu (2021) ที่ประยุกต์ใช้วิธี Multi-Criteria Decision Making (MCDM) ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินพื้นที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาชลประทานผิวดิน โดยพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และความลาดชัน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงต่อการประเมินศักยภาพพื้นที่ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านชลประทาน และการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Salma Hammami et al. (2019) ที่ใช้ GIS ร่วมกับ AHP ในการประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ชลประทาน และรายงานว่าการกำหนดค่าน้ำหนักด้วยกระบวนการ AHP ช่วยให้การประเมินความสำคัญของปัจจัยเป็นไปอย่างมีระบบและลดความลำเอียงในการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ขณะที่ผลการตรวจสอบค่า Consistency Ratio ที่ต่ำกว่า 0.10 แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบรายคู่มีความสอดคล้องกันและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างน่าเชื่อถือ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่มีค่า C.R. เท่ากับ 0.084 อย่างไรก็ดี แม้ว่าปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีจะได้รับค่าน้ำหนักต่ำที่สุด แต่ไม่ได้หมายความว่าปัจจัยดังกล่าวไม่มีความสำคัญ หากแต่สะท้อนว่าผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าการพัฒนาโครงการชลประทานควรให้ความสำคัญกับปัจจัยที่สามารถกำหนดและบริหารจัดการได้โดยตรง เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน การเข้าถึงแหล่งน้ำ และลักษณะภูมิประเทศ ก่อนพิจารณาปัจจัยด้านภูมิอากาศ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและสภาพภูมิอากาศในแต่ละปี

2) ผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพการชลประทานด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (GIS-AHP) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อนำค่าน้ำหนักของปัจจัยจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Weighted Overlay ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สามารถจำแนกพื้นที่ตามระดับศักยภาพการพัฒนาโครงการชลประทานของจังหวัดนครสวรรค์ออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เหมาะสมมาก (S1) พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) พื้นที่เหมาะสมน้อย (S3) และพื้นที่ไม่เหมาะสม (N) โดยพื้นที่เหมาะสมมาก (S1) มีเนื้อที่ 4,435,729.31 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 77.00 ของพื้นที่ศึกษา รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ไม่เหมาะสม (N) จำนวน 1,018,648.13 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.68 พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) จำนวน 220,885.88 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.83 และพื้นที่เหมาะสมน้อย (S3) จำนวน 85,786.31 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.49 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า จังหวัดนครสวรรค์มีศักยภาพสูงต่อการพัฒนาโครงการชลประทาน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบลุ่มในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และมีแม่น้ำสายสำคัญ ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำปิง แม่น้ำน่าน และแม่น้ำยม ไหลผ่านพื้นที่ ส่งผลให้พื้นที่ส่วนใหญ่สามารถเข้าถึงแหล่งน้ำได้สะดวก ประกอบกับมีความลาดชันต่ำและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรเป็นหลัก จึงได้รับการจัดอยู่ในระดับพื้นที่เหมาะสมมาก (S1) เป็นสัดส่วนสูงที่สุดของพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งมีพื้นที่เกษตรกรรมมากกว่าร้อยละ 70 ของพื้นที่ทั้งหมด และเป็นพื้นที่ผลิตพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของ

ประเทศ ได้แก่ ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง ดังนั้น การพัฒนาระบบชลประทานในพื้นที่ดังกล่าวจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำ สนับสนุนการเพาะปลูก และเพิ่มความมั่นคงด้านผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกัน พื้นที่ที่ถูกจัดอยู่ในระดับไม่เหมาะสม (N) มีสัดส่วนร้อยละ 17.68 ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ทางด้านตะวันตกของจังหวัด โดยเฉพาะบริเวณอำเภอแม่วงก์ อำเภอแม่เปิน และอำเภอลาดยาว ซึ่งเป็นพื้นที่ภูเขา พื้นที่ลาดชันสูง และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ นอกจากนี้ยังรวมถึงพื้นที่ชุมชนและแหล่งน้ำที่ถูกกำหนดเป็นพื้นที่ข้อจำกัด (Exclusion Criteria) ในการวิเคราะห์ เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีข้อจำกัดทั้งด้านกายภาพ กฎหมาย และการใช้ประโยชน์ที่ดิน จึงไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาโครงการชลประทาน ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Yegizaw and Ejegu (2021) ที่ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับการวิเคราะห์แบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) ในการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาชลประทานผิวดิน โดยพบว่าพื้นที่ราบ พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ มีศักยภาพสูงต่อการพัฒนาระบบชลประทาน ขณะที่พื้นที่ภูเขา พื้นที่ลาดชันสูง และพื้นที่ที่อยู่ห่างจากแหล่งน้ำ มีความเหมาะสมน้อยหรือไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาโครงการ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับ Salma Hammami et al. (2019) ที่รายงานว่า การบูรณาการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการ AHP สามารถจำแนกระดับความเหมาะสมของพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน ภูมิประเทศ และทรัพยากรน้ำ เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดการกระจายตัวของพื้นที่ศักยภาพสูงและพื้นที่ศักยภาพต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าพื้นที่เหมาะสมมากกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มและพื้นที่เกษตรกรรม ขณะที่พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ภูเขา พื้นที่ป่าอนุรักษ์ และพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่า การกำหนดพื้นที่ข้อจำกัด (Exclusion Criteria) มีความสำคัญต่อการประเมินศักยภาพพื้นที่ เนื่องจากช่วยตัดพื้นที่ที่ไม่สามารถพัฒนาโครงการได้จริงออกจากการวิเคราะห์ เช่น พื้นที่ป่าอนุรักษ์ พื้นที่ชุมชน และแหล่งน้ำ ส่งผลให้ผลการประเมินมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงมากยิ่งขึ้น และลดการประเมินพื้นที่ที่มีข้อจำกัดให้เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมเกินความเป็นจริง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าพื้นที่เหมาะสมมากจะมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 77.00 ของพื้นที่ศึกษา แต่ไม่ได้หมายความว่าพื้นที่ดังกล่าวสามารถดำเนินโครงการชลประทานได้ทันที เนื่องจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ประเมินจากปัจจัยด้านกายภาพเป็นหลัก ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ชนิดดิน และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ดังนั้น การนำผลการศึกษาไปใช้ในการวางแผนพัฒนาโครงการชลประทานควรพิจารณาปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ความคุ้มค่าของการลงทุน การถือครองที่ดิน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และการมีส่วนร่วมของประชาชนร่วมด้วย เพื่อให้การพัฒนาโครงการมีความเหมาะสมและเกิดความยั่งยืนในระยะยาว

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการศึกษาศักยภาพพื้นที่สำหรับการพัฒนาโครงการชลประทานในจังหวัดนครสวรรค์ โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- 1) ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการศึกษพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงที่สุดในการประเมินศักยภาพพื้นที่ชลประทาน โดยมีค่าน้ำหนักร้อยละ 27.84 ดังนั้น กรมชลประทาน สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรให้ความสำคัญกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในการกำหนดพื้นที่เป้าหมายสำหรับการพัฒนาโครงการชลประทาน โดยมุ่งเน้นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานเกิดความคุ้มค่าและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรได้สูงสุด
- 2) ด้านระยะห่างจากแหล่งน้ำและลักษณะภูมิประเทศ ผลการศึกษพบว่า ระยะห่างจากแหล่งน้ำและความลาดชันเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมา ดังนั้น การวางแผนพัฒนาโครงการชลประทานควรให้ความสำคัญกับพื้นที่ที่อยู่ใกล้แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ หรือระบบส่งน้ำเดิม และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบหรือมีความลาดชันต่ำ เพื่อช่วยลดต้นทุนการก่อสร้าง เพิ่มประสิทธิภาพในการส่งน้ำ และลดความสูญเสียของน้ำระหว่างการลำเลียง นอกจากนี้ ควรมีการ

ปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบชลประทานเดิมควบคู่กับการพัฒนาโครงการใหม่ เพื่อให้สามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3) ด้านการพัฒนาพื้นที่ศักยภาพสูง ผลการศึกษาพบว่า จังหวัดนครสวรรค์มีพื้นที่ที่มีศักยภาพเหมาะสมมาก (S1) จำนวน 4,435,729.31 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 77.00 ของพื้นที่ศึกษา ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรใช้ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลประกอบการจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ในการลงทุนด้านชลประทาน โดยให้ความสำคัญกับพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณตอนกลาง ตอนตะวันออก และตอนใต้ของจังหวัด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายน้ำ ลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำ และเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรของพื้นที่

4) ด้านการอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่มีข้อจำกัด ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ไม่เหมาะสม (N) มีจำนวน 1,018,648.13 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 17.68 ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ พื้นที่ภูเขา พื้นที่ลาดชันสูง พื้นที่ชุมชน และแหล่งน้ำ ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรหลีกเลี่ยงการพัฒนาโครงการชลประทานขนาดใหญ่ในพื้นที่ดังกล่าว และควรให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การฟื้นฟูระบบนิเวศ รวมทั้งส่งเสริมการบริหารจัดการน้ำในระดับชุมชนให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่แทน

5) ด้านการประยุกต์ใช้ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการวางแผน ผลการศึกษาค้นคว้าแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการ AHP สามารถสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าไปใช้ร่วมกับข้อมูลด้านเศรษฐกิจ สังคม การถือครองที่ดิน และความต้องการใช้น้ำของภาคเกษตร เพื่อกำหนดนโยบายและจัดสรรงบประมาณด้านการพัฒนาแหล่งน้ำและระบบชลประทานให้มีความเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรเพิ่มปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เช่น ปริมาณน้ำท่า ความสามารถในการกักเก็บน้ำ คุณภาพน้ำ ระยะห่างจากโครงสร้างพื้นฐานด้านชลประทาน ต้นทุนการพัฒนา การถือครองที่ดิน รวมถึงปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคม เพื่อให้ผลการประเมินศักยภาพพื้นที่มีความสมบูรณ์และสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงมากยิ่งขึ้น

2) ควรศึกษาความไวของค่าน้ำหนัก (Sensitivity Analysis) เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่มีต่อผลการจำแนกพื้นที่ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความมั่นคงของแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์

3) ควรขยายการศึกษาในระดับลุ่มน้ำ อำเภอ หรือตำบล รวมถึงพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศแตกต่างกัน เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่มากขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนโครงการชลประทานในระดับพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม

4) ควรประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น Fuzzy AHP, ANP, TOPSIS หรือเทคนิคด้าน Machine Learning เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ต่างกัน อันจะนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการประเมินศักยภาพพื้นที่ชลประทานที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5) ควรมีการตรวจสอบผลการวิเคราะห์กับข้อมูลภาคสนาม หรือพื้นที่ที่มีการดำเนินโครงการชลประทานจริง เพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง และปรับปรุงเกณฑ์การวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และบริบทของจังหวัดนครสวรรค์ รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. (2566ก). การบริหารจัดการน้ำฤดูแล้ง ปี 2566) https://www.rid.go.th/index.php/th/rid_news /1473-30-01-2566
- กรมชลประทาน. (2566ข). สถานการณ์น้ำเพื่อการบริหารจัดการน้ำ ปี 2566) <https://water.rid.go.th/flood/news/สถานการณ์น้ำผู้บริหาร%201ต.ค.66.pdf>
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2565). ข้อมูลทรัพยากรน้ำลุ่มน้ำเจ้าพระยา. https://drive.google.com/file/d/1JhsZRMw_fE_AQ34O40M5YEA1gtzxWvKe/view
- ประสูตร แก้วนิ่ม. (2568). การจัดการน้ำท้องถิ่นแบบมีส่วนร่วมขององค์กรผู้ใช้น้ำรอบบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ ตามหลักอปหิธานิธรรม. วารสารรัฐประศาสนศาสตร์และสหวิทยาเพื่อสังคม, 1(1), e1840.
- สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2561). แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580). <https://www.onwr.go.th/wp-content/uploads/2019/09/แผนแม่บทน้ำ20ปี-A4-Final.pdf>
- สำนักบริหารโครงการ. (2562). จังหวัดนครสวรรค์ [เอกสาร PDF]. กรมชลประทาน. <http://opm.rid.go.th/backend/web/filemanager-uploads/source/opm-main/รายงานแผนงานจังหวัด/เหนือ/14.นครสวรรค์.pdf>
- Abuzaid, A. S., & El-Husseiny, A. M. (2022). Modeling crop suitability under micro irrigation using a hybrid AHP-GIS approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 1217.
- Akinci, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 71–82.
- Anane, M., Bouziri, L., Limam, A., & Jellali, S. (2012). Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 65, 36–46.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science* (4th ed.). Wiley.
- Paul, M., Negahban-Azar, M., Shirmohammadi, A., & Montas, H. (2020). Assessment of agricultural land suitability for irrigation with reclaimed water using geospatial multi-criteria decision analysis. *Agricultural Water Management*, 231, 105987.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- Wubalem, A. (2023). Modeling of land suitability for surface irrigation using analytical hierarchy process method in Belessa Districts, northwestern Ethiopia. *Heliyon*, 9(3), e13937.
- Yegizaw, E. S., and Ejegu, D. G. (2021). Multi-criteria decision analysis for identifying suitable irrigation sites. *Journal of Water and Land Development*, 48, 140-151.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).