การประเมินการเกิดภัยแล้งระดับตำบลภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ กรณีศึกษาลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4

Assessment of Sub-district Scale Drought under Climate Change using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index: A Case Study of Chi River Basin Part 4

สมพินิจ เหมืองทอง[1,*] วินัย เชาวน์วิวัฒน์[2] หริส ประสารฉ่ำ[3] และ จิรวัฒน์ ศุภโกศล[4]

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน นครราชสีมา จ.นครราชสีมา
[2] สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กรุงเทพมหานคร
[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จ.ขอนแก่น
[4] คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จ.สกลนคร
**Corresponding author; E-mail address: Somphinith.mu@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อความถี่และความรุนแรงของภัยแล้งทั่วโลก โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่สำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกิดภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 ในระดับตำบล โดยใช้ดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ (SPEI) ที่ช่วงเวลา 3 6 9 และ 12 เดือน การศึกษาใช้ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศ CESM2, GFDL-ESM4 และ CanESM5 ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงแล้ว โดยการวิเคราะห์ใน 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงปัจจุบัน และการคาดการณ์ในอนาคตภายใต้ฉากทัศน์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับปานกลาง (SSP2.45) และระดับสูง (SSP5.85) ในช่วงอนาคตใกล้ อนาคตกลาง และอนาคตไกล ผลการศึกษาพบว่า ภายใต้ฉากทัศน์ SSP2.45 ในช่วงอนาคตใกล้ ความถี่การเกิดภัยแล้งเพิ่มขึ้น 4-6% ความเข้มลดลง 1-3% ความยาวนานเพิ่มขึ้น 4-6% และความรุนแรงเพิ่มขึ้น 12-15% ส่วนในฉากทัศน์ SSP5.85 พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่า โดยเฉพาะในช่วงปลายศตวรรษที่ 21 ที่พบว่าความถี่การเกิดภัยแล้งเพิ่มขึ้น 8-15% ความเข้มลดลง 3-5% ความยาวนานเพิ่มขึ้น 8-15% และความรุนแรงเพิ่มขึ้น 6-39% โดยการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดที่สุดคือดัชนี SPEI9 และ SPEI12 ซึ่งบ่งชี้ว่าภัยแล้งระยะยาวมีแนวโน้มที่จะรุนแรงขึ้นในอนาคต นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุดส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ และมหาสารคาม ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนบริหารจัดการน้ำและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ภัยแล้ง, ดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, แบบจำลองสภาพอากาศ, ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4

Abstract

Climate change has been affecting the frequency and severity of droughts worldwide, particularly in Chi River Sub-basin 4, which is a crucial agricultural area in northeastern Thailand. This study aims to analyze the impacts of climate change on drought occurrence at the sub-district level in Chi River Sub-basin 4 using the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) at 3-, 6-, 9-, and 12-month timescales. The study utilizes bias-corrected climate data from CESM2, GFDL-ESM4, and CanESM5 models, analyzing four time periods: the historical period and future projections under medium (SSP2.45) and high (SSP5.85) greenhouse gas emission scenarios for near-, mid-, and far-future periods. Results show that under SSP2.45 in the near future, drought frequency increases by 4-6%, intensity decreases by 1-3%, duration increases by 4-6%, and severity increases by 12-15%. The SSP5.85 scenario shows more pronounced changes, particularly by the end of the 21st century, with drought frequency increasing by 8-15%, intensity decreases by 3-5%, duration increasing by 8-15%, and severity increasing by 6-39%. The most significant changes are observed in SPEI9 and SPEI12 indices, indicating that long-term droughts are likely to become more severe in the future. The study also identifies that the most severely affected areas are mainly located in Roi Et, Kalasin and Maha Sarakham provinces. These findings can be effectively applied to water management planning and climate change adaptation strategies at the local level.

Keywords: Drought, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, Climate Change, Climate model, Chi River Basin Part 4

1. คำนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณฝนและอุณหภูมิทั่วโลก โดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อนที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดภัยแล้ง (IPCC, 2022) สำหรับประเทศไทยพบว่าในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา อุณหภูมิเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.2-0.3 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ ในขณะที่ปริมาณฝนมีความแปรปรวนสูงและมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2565) โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้งสูง

ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศ โดยมีการปลูกข้าวเป็นพืชหลัก (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2564) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา พื้นที่นี้ประสบปัญหาภัยแล้งที่รุนแรงขึ้น โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2558-2559 เกิดภัยแล้งรุนแรงที่สุดในรอบ 50 ปี ส่งผลให้พื้นที่การเกษตรได้รับความเสียหายกว่า 100,000 ไร่ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2560)

การศึกษาภัยแล้งในปัจจุบันนิยมใช้ดัชนีภัยแล้งหลายประเภท โดยดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ (SPEI) เป็นดัชนีที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคำนึงถึงทั้งปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อการระเหยและการคายน้ำ (Vicente-Serrano et al., 2010) การศึกษาในต่างประเทศที่ใช้ SPEI ในการประเมินภัยแล้ง เป็นต้นว่าการศึกษาในประเทศจีนพบว่าภัยแล้งในภาคตะวันตกเฉียงเหนือมีแนวโน้มรุนแรงขึ้นในอนาคต (Wang et al., 2020) และการศึกษาในยุโรปพบว่าความถี่ของภัยแล้งจะเพิ่มขึ้นภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Spinoni et al., 2018)

สำหรับประเทศไทย มีการศึกษาที่ใช้ SPEI ในการประเมินภัยแล้งในหลายพื้นที่ เช่น การศึกษาในลุ่มน้ำมูลที่พบว่าภัยแล้งมีแนวโน้มรุนแรงขึ้นในช่วงฤดูแล้ง (สมชาย และคณะ, 2563) และการศึกษาในลุ่มน้ำยมที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลให้ภัยแล้งมีความถี่เพิ่มขึ้นในอนาคต (วิภา และคณะ, 2564) ส่วนในลุ่มน้ำชีผลการศึกษาของ Tipaporn Homdee et al., 2016 ระบุว่าตัวบ่งชี้ต่างๆ ของดัชนี SPEI สามารถส่งผลกระทบที่แตกต่างกันต่อสภาวะภัยแล้งในลุ่มน้ำชี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย รวมถึงมีการประเมินความรุนแรงและความเปราะบางของภัยแล้งในลุ่มน้ำลำพะเนียง โดยใช้ดัชนีความเสี่ยงภัยแล้ง (Drought Hazard Index: DHI) ซึ่งได้มาจากดัชนีปริมาณน้ำฝน-การคายระเหย SPEI (Kittiwet Kuntiyawichai and Sarayut Wongsasri. 2021) อย่างไรก็ตามการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ภัยแล้งในระดับลุ่มน้ำหรือจังหวัด ซึ่งประเทศไทยยังขาดการศึกษาภัยแล้งในระดับตำบล ที่เป็นหน่วยการปกครองที่มีความสำคัญสำหรับการบริหารจัดการน้ำและการวางแผนเพื่อรับมือกับภัยแล้ง

2. ระเบียบวิธีศึกษา

2.1 พื้นที่ศึกษา

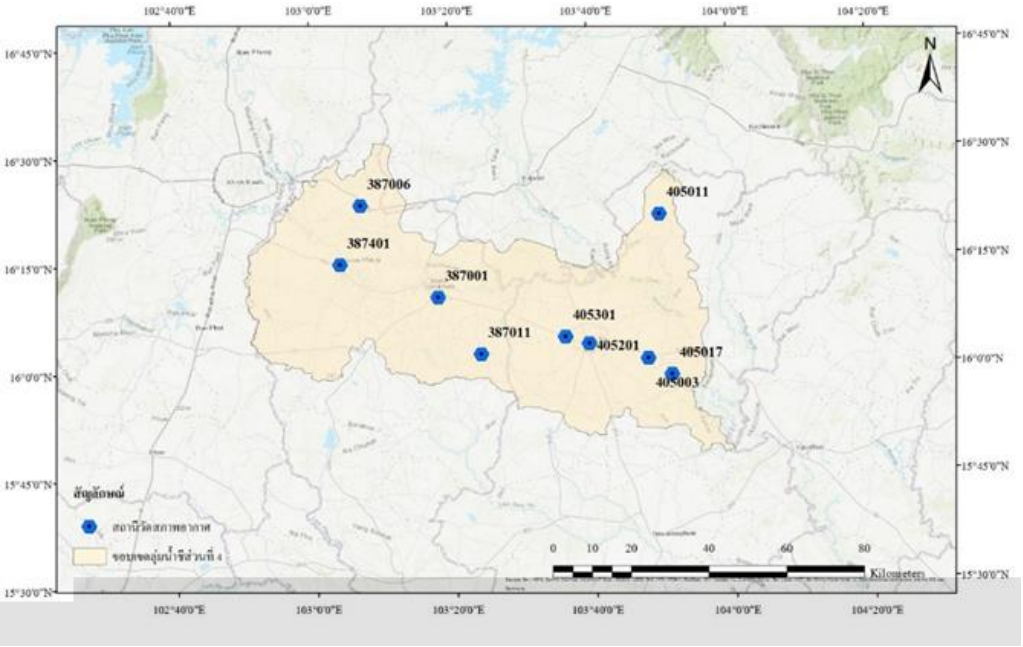
2.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 เป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำชี ซึ่งเป็นลุ่มน้ำหลักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่ครอบคลุม 4 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น มหาสารคาม กาฬสินธุ์ และร้อยเอ็ด รวมประมาณ 4,144 ตารางกิโลเมตร หรือ 2.59 ล้านไร่ (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2564) โดยมีอาณาเขตทิศเหนือติดต่อกับลุ่มน้ำชีส่วนที่ 3 ในเขตอำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ทิศใต้ติดต่อกับลุ่มน้ำมูลในเขตอำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ทิศตะวันออกติดต่อกับลุ่มน้ำชีส่วนที่ 5 ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด และทิศตะวันตกติดต่อกับลุ่มน้ำชีส่วนที่ 3 ในเขตอำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น (กรมทรัพยากรน้ำ, 2563) สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปของลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 เป็นที่ราบลุ่ม มีความลาดชันน้อย (0-2%) โดยมีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 130-170 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) ตามแนวลำน้ำชี

การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมคิดเป็นร้อยละ 75 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยแบ่งเป็นนาข้าวร้อยละ 60 พืชไร่ร้อยละ 10 และไม้ยืนต้น/ไม้ผลร้อยละ 5 ส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่ชุมชน แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2564) ซึ่งการที่พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ทำให้มีความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและการเกิดภัยแล้ง โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยและอุณหภูมิสูง

2.1.2 สภาพอุตุ-อุทกวิทยา

ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 มีแม่น้ำชีเป็นลำน้ำสายหลักไหลผ่านในแนวตะวันตก-ตะวันออก (กรมชลประทาน, 2562) ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้นสลับแล้ง (Tropical Savanna) ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) มีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,100-1,300 มิลลิเมตรต่อปี ฤดูหนาว (พฤศจิกายน-มกราคม) โดยมีที่ตั้งสถานีตรวจวัดอากาศดังแสดงในรูปที่ 1 ทั้งนี้มีรายงานค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 22-25 องศาเซลเซียส และฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-เมษายน) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28-32 องศาเซลเซียส (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2565)



รูปที่ 1 สถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาชีส่วนที่ 4

2.2 วิธีการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล

2.2.1 วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกิดภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก 3 แบบจำลอง ได้แก่ (1) CESM2 (Community Earth System Model version 2) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย National Center for Atmospheric Research (NCAR), (2) GFDL-ESM4 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Earth System Model version 4) พัฒนาโดย National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) และ (3) CanESM5 (Canadian Earth System Model version 5) พัฒนาโดย Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis ซึ่งใช้ตัวแปรภูมิอากาศ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนรายวัน อุณหภูมิสูงสุดรายวัน และอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ที่เลือกใช้แบบจำลองทั้งสามนี้ เนื่องจาก CESM2 มีความครอบคลุมและความแม่นยำในการจำลองสภาพภูมิอากาศ GFDL-ESM4 ได้มีการรวมองค์ประกอบหลายอย่างและมีความละเอียดสูงทั้งในบรรยากาศและมหาสมุทร ส่วน CanESM5 ถูกพัฒนาเพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตและอนาคต และมีความสามารถในการผลิตชุดข้อมูลขนาดใหญ่ *(Kittiwet Kuntiyawichai and Sarayut Wongsasri. 2021)*

การศึกษาได้แบ่งช่วงเวลาวิเคราะห์เป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงปัจจุบัน (ค.ศ. 1981-2014) ช่วงอนาคตใกล้ (ค.ศ.2015-2044) ช่วงอนาคตกลาง (ค.ศ. 2588-2615) และช่วงอนาคตไกล (ค.ศ.2616-2643) โดยการศึกษาเริ่มจากการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศด้วยวิธี Quantile-Quantile Mapping เพื่อปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงในช่วงปี ค.ศ.1981-2014 จากนั้นจึงคำนวณดัชนี SPEI โดยเริ่มจากการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำด้วยวิธี Penman-Monteith และคำนวณดัชนี SPEI ที่ช่วงเวลา 3 6 9 และ 12 เดือน โดยกำหนดให้ค่า SPEI ที่ต่ำกว่า -1 เป็นเกณฑ์บ่งชี้การเกิดภัยแล้ง

2.2.2 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ลักษณะของภัยแล้งได้พิจารณาจาก 4 ด้าน ได้แก่ ความรุนแรง (Mean Severity) คำนวณจากค่าเฉลี่ยของ SPEI ที่ต่ำกว่า -1 ความเข้ม (Mean SPEI under-1) คำนวณจากค่า SPEI ที่ต่ำที่สุดในแต่ละปี ความยาวนาน (Mean Duration) คำนวณจากจำนวนเดือนที่เกิดภัยแล้งติดต่อกัน และความถี่ (Frequency) คำนวณจากจำนวนครั้งที่เกิดภัยแล้งต่อปี จากนั้นจึงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโดยเปรียบเทียบลักษณะภัยแล้งระหว่างช่วงอนาคตกับช่วงปัจจุบัน วิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภายใต้สถานการณ์ SSP2.45 และ SSP5.85 และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศทั้ง 3 แบบจำลอง โดยเกณฑ์การวิเคราะห์ค่า SPEI ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจำแนกความแห้งแล้งตามดัชนี SPEI

ช่วงค่า SPEI	Drought classes
2.0 or more	extremely wet
1.5 to 1.99	very wet
1.0 to 1.49	moderately wet
-0.99 to 0.99	near normal
-1.0 to -1.49	moderately dry
-1.5 to -1.99	severely dry
-2 and less	extremely dry

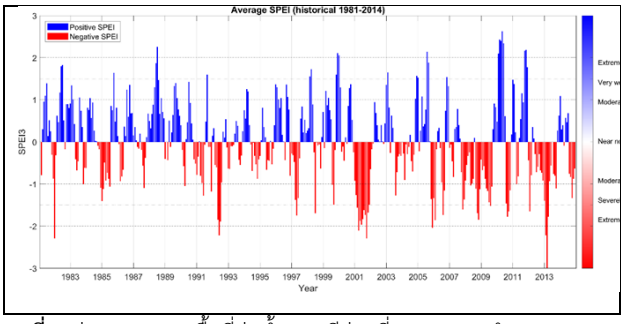
การศึกษานี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะของภัยแล้งในระดับตำบล เพื่อให้ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการวางแผนบริหารจัดการน้ำและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเตรียมความพร้อมและการวางแผนรับมือกับภัยแล้งในอนาคต

3. ผลการศึกษา

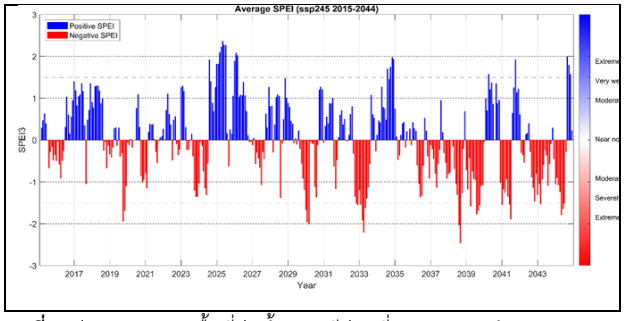
3.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 โดยใช้ดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ (SPEI) ที่ช่วงเวลา 3 6 9 และ 12 เดือน จากผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ CESM2, GFDL-ESM4 และ CanESM5 สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของภัยแล้งในอนาคตได้ดังนี้

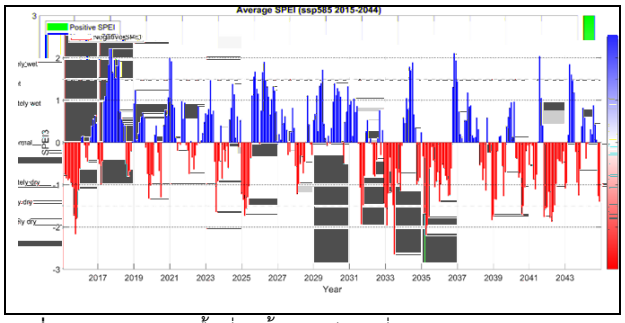
ค่า SPEI3 ของพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาชีส่วนที่ 4 จากแบบจำลอง CESM2 ในช่วงปัจจุบัน (ค.ศ.1981-2014) ได้แสดงในรูปที่ 2 ส่วนรูปที่ 3 และ 4 แสดงค่า SPEI3 ของพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาชีส่วนที่ 4 จากแบบจำลอง CESM2 ฉากทัศน์ SSP2.45 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2044) และฉากทัศน์ SSP5.85 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2044) ตามลำดับ



รูปที่ 2 ค่า SPEI3 ของพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาชีส่วนที่ 4 จากแบบจำลอง CESM2 ในช่วงปัจจุบัน (ค.ศ.1981-2014)



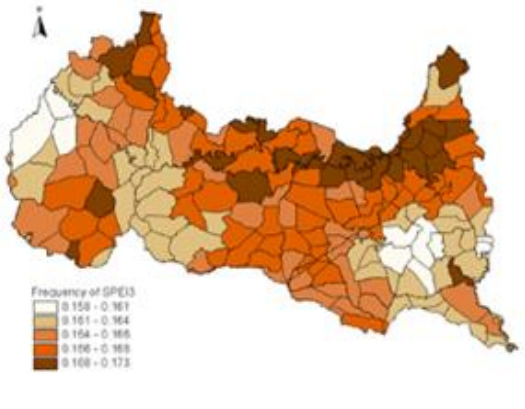
รูปที่ 3 ค่า SPEI3 ของพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาชีส่วนที่ 4 จากแบบจำลอง CESM2 ฉากทัศน์ SSP2.45 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2044)



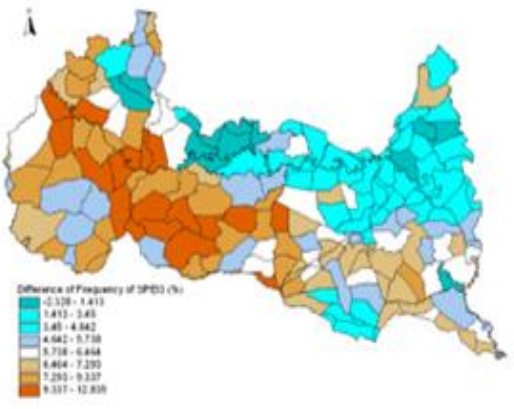
รูปที่ 4 ค่า SPEI3 ของพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาชีส่วนที่ 4 จากแบบจำลอง CESM2 ฉากทัศน์ SSP5.85 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2044)

3.1.1 ความถี่ของการเกิดภัยแล้ง

ความถี่ของการเกิดภัยแล้งของ SPEI3 กรณีฉากทัศน์ SSP2.45 ในอนาคตอันใกล้เทียบกับปัจจุบัน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 4-6% จากปัจจุบัน (ตารางที่ 1) โดยเฉพาะในพื้นที่ตอนกลางและตะวันออกของลุ่มน้ำ (รูปที่ 5) ขณะที่ภายใต้ฉากทัศน์ SSP5.85 พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของความถี่ชัดเจนกว่า โดยเฉพาะในช่วงปลายศตวรรษที่ 21 จะเพิ่มขึ้น 8-15% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงขึ้น จะส่งผลให้เกิดภัยแล้งบ่อยครั้งขึ้น



(ก) ความถี่การเกิดภัยแล้งของ SPEI3



(ข) ผลต่างระหว่างกรณีฉากทัศน์ SSP2.45 ในอนาคตอันใกล้เทียบกับปัจจุบัน

รูปที่ 5 ความถี่การเกิดภัยแล้งของ SPEI3 ในปัจจุบันและผลต่างระหว่างกรณีฉากทัศน์ SSP2.45 ในอนาคตอันใกล้เทียบกับปัจจุบัน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความถี่การเกิดภัยแล้งจากค่าดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ

SPEI MONTH	แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก	Historical	ผลต่างระหว่างกรณีฉากทัศน์ในอนาคตกับปัจจุบัน (%)					
			SSP2.45			SSP5.85		
		1981-2014	2015-2044	2045-2072	2073-2100	2015-2044	2045-2072	2073-2100
SPEI3	CESM2	0.15	18.63	16.23	23.25	9.56	10.32	13.04
	GFDL-ESM4	0.17	3.44	-14.09	4.98	8.15	0.52	9.48
	CanESM5	0.18	-2.68	-0.13	-8.18	-0.12	-17.65	1.76
	Average	0.17	6.46	0.67	6.68	5.86	-2.27	8.09
SPEI6	CESM2	0.16	4.44	4.02	12.37	3.15	6.29	0.72
	GFDL-ESM4	0.15	14.33	2.05	8.28	28.40	11.84	31.43
	CanESM5	0.16	-3.87	0.75	-6.17	3.89	-19.95	13.74
	Average	0.16	4.97	2.27	4.83	11.82	-0.61	15.29
SPEI9	CESM2	0.16	-12.35	8.86	11.51	10.66	5.44	0.49
	GFDL-ESM4	0.17	0.48	-1.87	10.40	13.98	3.49	5.46
	CanESM5	0.16	8.63	4.81	-0.37	4.16	-11.31	16.73
	Average	0.16	-1.08	3.93	7.18	9.60	-0.79	7.56
SPEI12	CESM2	0.16	-5.96	5.44	21.05	9.48	6.43	4.11
	GFDL-ESM4	0.16	5.74	7.31	17.12	27.24	17.40	8.12
	CanESM5	0.15	14.05	-0.64	-9.38	18.06	-4.10	31.70
	Average	0.16	4.61	4.04	9.60	18.26	6.58	14.64

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มของภัยแล้งจากค่าดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ

SPEI MONTH	แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก	Historical	ผลต่างระหว่างกรณีฉากทัศน์ในอนาคตกับปัจจุบัน (%)					
			SSP2.45			SSP5.85		
		1981-2014	2015-2044	2045-2072	2073-2100	2015-2044	2045-2072	2073-2100
SPEI3	CESM2	-1.55	-8.30	-8.25	-8.01	-4.88	-7.89	-5.09
	GFDL-ESM4	-1.44	0.01	5.87	-1.16	-2.87	-1.12	-2.19
	CanESM5	-1.43	-1.34	-1.62	0.84	1.69	6.83	-1.87
	Average	-1.47	-3.21	-1.33	-2.78	-2.02	-0.73	-3.05
SPEI6	CESM2	-1.53	-3.36	-4.83	-3.60	-2.45	-6.30	-1.39
	GFDL-ESM4	-1.50	-2.29	3.04	-4.23	-6.22	-4.86	-7.56
	CanESM5	-1.52	-3.71	-3.29	-2.57	-3.39	9.61	-7.11
	Average	-1.51	-3.12	-1.69	-3.47	-4.02	-0.52	-5.36
SPEI9	CESM2	-1.51	0.64	-6.40	-5.84	-4.86	-7.21	-0.88
	GFDL-ESM4	-1.44	2.32	5.75	-3.22	-1.44	-1.15	0.13
	CanESM5	-1.54	-5.22	-3.42	-2.66	-5.04	7.54	-9.47
	Average	-1.49	-0.75	-1.36	-3.91	-3.78	-0.27	-3.40
SPEI12	CESM2	-1.51	-3.83	-7.13	-9.24	-3.84	-8.98	-3.04
	GFDL-ESM4	-1.47	1.02	1.90	-7.91	-5.58	-4.01	-2.41
	CanESM5	-1.54	-5.95	-3.07	0.29	-8.31	6.78	-11.17
	Average	-1.51	-2.92	-2.77	-5.62	-5.91	-2.07	-5.54

3.1.2 ความเข้มของภัยแล้ง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภายใต้ฉากทัศน์ SSP2.45 ในช่วงอนาคตใกล้ ความเข้มของภัยแล้งมีแนวโน้มลดลง 1-3% ขณะที่ภายใต้ฉากทัศน์ SSP5.85 ในช่วงปลายศตวรรษ ความเข้มลดลง 3-5% (ตารางที่ 2) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบฝนที่มีความผันแปรสูงขึ้น

3.1.3 ความยาวนานของภัยแล้ง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภายใต้ฉากทัศน์ SSP2.45 ในช่วงอนาคตใกล้ ความยาวนานของภัยแล้งจะเพิ่มขึ้นถึง 4-6% และภายใต้ฉากทัศน์ SSP5.85 ในช่วงปลายศตวรรษจะเพิ่มขึ้น 5-18% (ตารางที่ 3) โดยเฉพาะในพื้นที่ตอนกลางและตะวันออกของลุ่มน้ำ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความยาวนานของการเกิดภัยแล้งจากค่าดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ

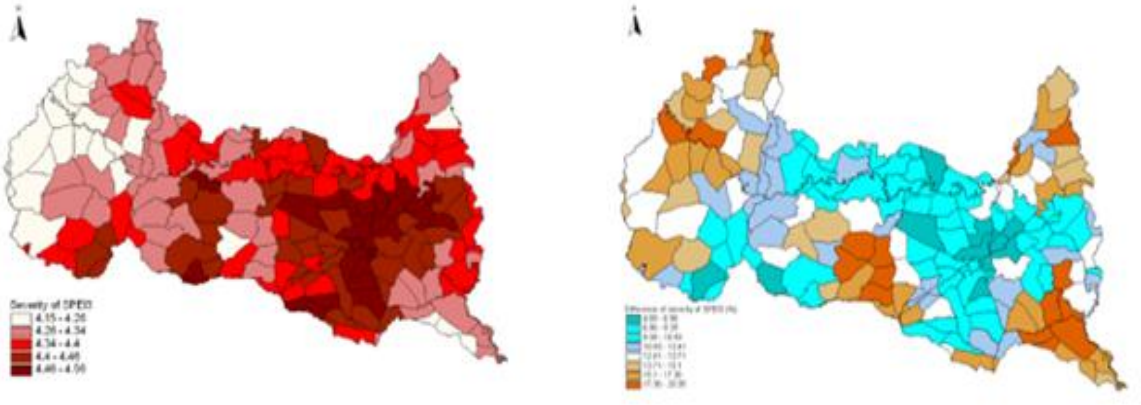
SPEI MONTH	แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก	Historical	ผลต่างระหว่างกรณีฉากทัศน์ในอนาคตกับปัจจุบัน (%)					
			SSP2.45			SSP5.85		
		1981-2014	2015-2044	2045-2072	2073-2100	2015-2044	2045-2072	2073-2100
SPEI3	CESM2	0.15	18.63	16.23	23.25	9.56	10.32	13.04
	GFDL-ESM4	0.17	3.44	-14.09	4.98	8.15	0.52	9.48
	CanESM5	0.18	-2.68	-0.13	-8.18	-0.12	-17.65	1.76
	Average	0.17	6.46	0.67	6.68	5.86	-2.27	8.09
SPEI6	CESM2	0.16	4.44	4.02	12.37	3.15	6.29	0.72
	GFDL-ESM4	0.15	14.33	2.05	8.28	28.40	11.84	31.43
	CanESM5	0.16	-3.87	0.75	-6.17	3.89	-19.95	13.74
	Average	0.16	4.97	2.27	4.83	11.82	-0.61	15.29
SPEI9	CESM2	0.16	-12.35	8.86	11.51	10.66	5.44	0.49
	GFDL-ESM4	0.17	0.48	-1.87	10.40	13.98	3.49	5.46
	CanESM5	0.16	8.63	4.81	-0.37	4.16	-11.31	16.73
	Average	0.16	-1.08	3.93	7.18	9.60	-0.79	7.56
SPEI12	CESM2	0.16	-5.96	5.44	21.05	9.48	6.43	4.11
	GFDL-ESM4	0.16	5.74	7.31	17.12	27.24	17.40	8.12
	CanESM5	0.15	14.05	-0.64	-9.38	18.06	-4.10	31.70
	Average	0.16	4.61	4.04	9.60	18.26	6.58	14.64

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความรุนแรงของภัยแล้งจากค่าดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานค่าการระเหยและการคายน้ำ

SPEI MONTH	แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก	Historical	ผลต่างระหว่างกรณีฉากทัศน์ในอนาคตกับปัจจุบัน (%)					
			SSP2.45			SSP5.85		
		1981-2014	2015-2044	2045-2072	2073-2100	2015-2044	2045-2072	2073-2100
SPEI3	CESM2	4.34	29.13	12.19	15.78	12.05	13.49	12.65
	GFDL-ESM4	4.45	10.12	-9.25	12.23	7.61	29.07	15.30
	CanESM5	4.31	-1.99	-17.73	2.85	18.17	-4.51	21.96
	Average	4.37	12.42	-4.92	10.28	12.61	12.68	16.64
SPEI6	CESM2	6.14	41.05	8.69	-8.99	27.16	7.22	-6.34
	GFDL-ESM4	7.29	-17.36	-16.50	-13.27	-12.44	4.69	6.95
	CanESM5	5.59	22.76	9.46	10.83	21.14	11.94	20.03
	Average	6.34	15.49	0.55	-3.81	11.95	7.95	6.88
SPEI9	CESM2	8.28	30.85	4.07	9.53	8.97	1.82	0.62
	GFDL-ESM4	9.72	-20.41	-32.10	-2.74	-11.90	-13.84	-12.70
	CanESM5	6.45	34.18	19.07	29.42	40.59	67.80	48.38
	Average	8.15	14.87	-2.98	12.07	12.55	18.59	12.10
SPEI12	CESM2	9.09	37.58	29.38	30.54	4.91	10.52	26.34
	GFDL-ESM4	10.42	-19.49	-30.06	-2.60	6.54	-0.26	-15.40
	CanESM5	8.71	19.10	26.57	7.83	51.08	52.46	104.90
	Average	9.41	12.40	8.63	11.92	20.84	20.90	38.61

3.1.4 ความรุนแรงของภัยแล้ง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภายใต้ฉากทัศน์ SSP2.45 ในช่วงอนาคตใกล้ ความรุนแรงของภัยแล้งจะเพิ่มขึ้นถึง 12-15% และภายใต้ฉาก ทัศน์ SSP5.85 ในช่วงปลายศตวรรษจะเพิ่มขึ้น 6-39% (ตารางที่ 4) โดยเฉพาะในพื้นที่ตอนกลางและตะวันออกของลุ่มน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความถี่และความยาวนานของภัยแล้ง แสดงในรูปที่ 6



(ก) ความรุนแรงของภัยแล้งของ SPEI3 (ข) ผลต่างระหว่างกรณีฉากทัศน์ SSP2.45 ในอนาคตอันใกล้เทียบกับปัจจุบัน

รูปที่ 6 ความรุนแรงของภัยแล้งของ SPEI3 ในปัจจุบันและผลต่างระหว่างกรณีฉากทัศน์ SSP2.45 ในอนาคตอันใกล้เทียบกับปัจจุบัน

ตารางที่ 5 ตำบลที่ได้ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นความรุนแรงของภัยแล้งสูงสุด 3 ตำบลแรกของแต่ละ SPEI

SPEI	SSP2.45			SSP5.85		
	2015-2044	2045-2072	2073-2100	2015-2044	2045-2072	2073-2100
SPEI3	ต.โหรา อ.อาจสามารถ จ.ร้อยเอ็ด	ต.หนองตอกแป้น อ.ยางตลาด จ.กาฬสินธุ์	ต.เหล่า อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด	ต.บ้านแฮด อ.บ้านแฮด จ.ขอนแก่น	ต.หนองแซง อ.บ้านแฮด จ.ขอนแก่น	ต.กุดรัง อ.กุดรัง จ.มหาสารคาม
	ต.คำเหมือดแก้ว อ.ห้วยเม็ก จ.กาฬสินธุ์	ต. กุดใส้จ่อ อ. กันทรวิชัย จ. มหาสารคาม	ต.นาเมือง อ.เสลภูมิ จ.ร้อยเอ็ด	ต.บ่อใหญ่ อ.บรบือ จ.มหาสารคาม	ต.ภูเหล็ก อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น	ต.นาโพธิ์ อ.กุดรัง จ.มหาสารคาม
	ต.หนองกุง อ.แกดำ จ.มหาสารคาม	ต.โคกสะอาด อ.ฆ้องชัย จ.กาฬสินธุ์	ต.ทุ่งเขาหลวง อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด	ต.นาโพธิ์ อ.กุดรัง จ.มหาสารคาม	ต.ดอนกลาง อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม	ต.หนองแซง อ.บ้านแฮด จ.ขอนแก่น
SPEI6	ต.หนองบัว อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม	ต.ลำชี อ.ฆ้องชัย จ.กาฬสินธุ์	ต.คำเหมือดแก้ว อ.ห้วยเม็ก จ.กาฬสินธุ์	ต.พระเจ้า อ.เชียงขวัญ จ.ร้อยเอ็ด	ต.ยางน้อย อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม	ต.เกิ้ง อ.เมือง จ.มหาสารคาม
	ต.โพนงาม อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม	ต.มะค่า อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม	ต.โนนสูง อ.ยางตลาด จ.กาฬสินธุ์	ต.บึงงาม อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด	ต.นาทอง อ.เชียงยืน จ.มหาสารคาม	ต.ท่าขอนยาง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม
	ต.กู่ทอง อ.เชียงยืน จ.มหาสารคาม	ต.ลาดพัฒนา อ.เมือง จ.มหาสารคาม	ต.บึงงาม อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด	ต.ยางน้อย อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม	ต.หมูม้น อ.เชียงขวัญ จ.ร้อยเอ็ด	ต.ศรีสุข อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม
SPEI9	ต.อุ่มเม้า อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.ไพศาล อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.อุ่มเม้า อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.อุ่มเม้า อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.เทอดไทย อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด	ต.เทอดไทย อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด
	ต.โพธิ์ศรี อ.โพธิ์ชัย จ.ร้อยเอ็ด	ต.โพธิ์ใหญ่ อ.พนมไพร จ.ร้อยเอ็ด	ต.ไพศาล อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.ไพศาล อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.นาเลิง อ.เสลภูมิ จ.ร้อยเอ็ด	ต.นาเลิง อ.เสลภูมิ จ.ร้อยเอ็ด
	ต.ไพศาล อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.ลำชี อ.ฆ้องชัย จ.กาฬสินธุ์	ต.เขวา อ.เมือง จ.มหาสารคาม	ต.โพธิ์ศรี อ.โพธิ์ชัย จ.ร้อยเอ็ด	ต.ขวัญเมือง อ.เสลภูมิ จ.ร้อยเอ็ด	ต.โพธิ์ศรี อ.โพธิ์ชัย จ.ร้อยเอ็ด
SPEI12	ต.บึงนคร อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.ทุ่งเขาหลวง อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด	ต.บัวคำ อ.โพธิ์ชัย จ.ร้อยเอ็ด	ต.ศรีสุข อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม	ต.บึงงาม อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด	ต.เทอดไทย อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด
	ต.นาเมือง อ.เสลภูมิ จ.ร้อยเอ็ด	ต.ไพศาล อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.คำนาดี อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด	ต.ท่าขอนยาง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม	ต.หนองซอน อ.เชียงยืน จ.มหาสารคาม	ต.บึงงาม อ.ทุ่งเขาหลวง จ.ร้อยเอ็ด
	ต.ท่าม่วง อ.เสลภูมิ จ.ร้อยเอ็ด	ต.กลาง อ.เสลภูมิ จ.ร้อยเอ็ด	ต.โพนงาม อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม	ต.บึงนคร อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด	ต.มิตรภาพ อ.แกดำ จ.มหาสารคาม	ต.โพนทอง อ.เชียงยืน จ.มหาสารคาม

3.2 การวิเคราะห์ในระดับพื้นที่

เมื่อพิจารณาในระดับพื้นที่ พบว่าตำบลที่ได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุดส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดร้อยเอ็ด มหาสารคาม ขอนแก่น และกาฬสินธุ์ โดยเฉพาะตำบลอุ่มเม้าและตำบลไพศาล อำเภอธวัชบุรี และตำบลเทอดไทย อำเภอทุ่งเขาหลวง จังหวัดร้อยเอ็ด ที่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของภัยแล้งที่ชัดเจนในทุกดัชนี โดยแสดงตำบลที่ได้ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นความรุนแรงของภัยแล้งสูงสุด 3 ตำบลแรกของแต่ละ SPEI (แสดงในตารางที่ 5) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลให้สถานการณ์ภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 มีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง (SSP5.85) และในช่วงปลายศตวรรษที่ 21 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนบริหารจัดการน้ำ และการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับพื้นที่

4. บทสรุป

การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4 โดยใช้ดัชนี SPEI ที่ช่วงเวลา 3 6 9 และ 12 เดือน พบการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ได้แก่ ผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ CESM2, GFDL-ESM4 และ CanESM5 แสดงให้เห็นว่าในช่วงปัจจุบัน (ค.ศ. 1981-2014) พื้นที่มีค่าความถี่การเกิดภัยแล้งเฉลี่ย 0.16-0.17 ครั้งต่อปี โดยมีความเข้มของภัยแล้งอยู่ที่ -1.47 ถึง -1.51 ความยาวนานเฉลี่ย 4-11 เดือน และมีค่าความรุนแรงอยู่ในช่วง 4-9 หน่วย ซึ่งภายใต้ฉากทัศน์ SSP2.45 ในช่วงอนาคตใกล้ (ค.ศ. 2015-2044) พบว่าความถี่ของการเกิดภัยแล้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 4.6-6.5% ความเข้มลดลง 0.75-3.2% ขณะที่ความยาวนานเพิ่มขึ้น 4.6-6.5% และความรุนแรงเพิ่มขึ้น 12.4-15.5% เมื่อเทียบกับปัจจุบัน โดยเฉพาะในพื้นที่ตอนกลางและตะวันออกของลุ่มน้ำ สำหรับฉากทัศน์ SSP5.85 ซึ่งเป็นกรณีที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่า โดยเฉพาะในช่วงปลายศตวรรษที่ 21 (ค.ศ. 2073-2100) ที่พบว่าความถี่การเกิดภัยแล้งเพิ่มขึ้น 7.6-14.6% ความเข้มลดลง 3.1-5.5% ความยาวนานเพิ่มขึ้น 7.5-14.6% และความรุนแรงเพิ่มขึ้นถึง 12.1-38.6% นอกจากนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดที่สุดพบในดัชนี SPEI9 และ SPEI12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภัยแล้งระยะยาวมีแนวโน้มที่จะรุนแรงขึ้นในอนาคต โดยเฉพาะในพื้นที่ตอนกลางและตะวันออกของลุ่มน้ำ เช่น ตำบลอุ่มเม้าและตำบลไพศาล อำเภอธวัชบุรี และตำบลเทอดไทย อำเภอทุ่งเขาหลวง จังหวัดร้อยเอ็ด

ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลให้สถานการณ์ภัยแล้งในพื้นที่มีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเกษตรและการใช้น้ำในพื้นที่ จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนบริหารจัดการน้ำและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับพื้นที่อย่างเร่งด่วน จากผลการศึกษาดังกล่าว มีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่สำคัญ เป็นต้นว่า ควรมีการวางแผนบริหารจัดการน้ำในระดับลุ่มน้ำที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของภัยแล้งในอนาคต พัฒนาระบบเตือนภัยแล้งล่วงหน้าในระดับตำบลโดยใช้ดัชนี SPEI และส่งเสริมการปรับตัวของเกษตรกรต่อภัยแล้งที่อาจรุนแรงและยาวนานขึ้น รวมถึงการจัดทำแผนรับมือภัยแล้งระยะยาวที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต สำหรับข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ ควรมีการพัฒนาแหล่งกักเก็บน้ำขนาดเล็กในระดับตำบล ส่งเสริมการปลูกพืชที่ทนแล้งและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพในภาคการเกษตร จัดตั้งเครือข่ายเฝ้าระวังภัยแล้งในระดับชุมชน และพัฒนาระบบชลประทานที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่

สำหรับการศึกษาในอนาคต ควรมีการศึกษาผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมของการเปลี่ยนแปลงลักษณะภัยแล้ง วิเคราะห์ความเปราะบางของพื้นที่ต่อภัยแล้งในระดับตำบล ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกับความรุนแรงของภัยแล้ง และพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ภัยแล้งที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของภัยแล้งในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน รวมถึงลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อภาคการเกษตรและชุมชนในพื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นการนำผลการศึกษาส่วนหนึ่งจากโครงการวิจัย “การเปลี่ยนแปลงดัชนีความยั่งยืนของลุ่มน้ำสำหรับวางแผนการจัดการน้ำรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน: กรณีศึกษาลุ่มน้ำชีส่วนที่ 4” ซึ่งได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ในปีงบประมาณ พ.ศ.2565 สัญญาเลขที่ PRP6505030870

คณะผู้ศึกษาขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการจัดทำงานวิจัย และข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ ขอบคุณหน่วยงานต้นสังกัดของนักวิจัยที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานทุกมิติ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2560). รายงานสถานการณ์สาธารณภัย ประจำปี 2559. กรุงเทพฯ: กระทรวงมหาดไทย.

[2] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2565). รายงานสภาวะอากาศของประเทศไทย พ.ศ.2534-2564. กรุงเทพฯ: กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.

[3] กรมชลประทาน. (2562). รายงานการศึกษาโครงการพัฒนาลุ่มน้ำชีตอนกลาง. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[4] กรมทรัพยากรน้ำ. (2563). รายงานสถานการณ์น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำชี. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[5] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2565). สถิติภูมิอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2534-2564. กรุงเทพฯ: กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.

[6] วิภา จำปามูล และคณะ. (2564). การคาดการณ์ภัยแล้งในลุ่มน้ำยมภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์, 12(1), 78-92.

[7] สมชาย สุขประเสริฐ และคณะ. (2563). การประเมินภัยแล้งในลุ่มน้ำมูลโดยใช้ดัชนี SPEI. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(2), 45-58.

[8] สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2564). แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี. กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.

[9] สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2564). แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี. กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.

[10] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2564). รายงานการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพฯ: กระทรวงการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

[11] IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press.

[12] Kittiwet Kuntiyawichai and Sarayut Wongsasri. (2021). Assessment of Drought Severity and Vulnerability in the Lam Phaniang River Basin, Thailand. *Water* 2021, *13*(19), 2743; https://doi.org/10.3390/w13192743

[13] Spinoni, J., Vogt, J. V., Naumann, G., Barbosa, P., & Dosio, A. (2018). Will drought events become more frequent and severe in Europe? International Journal of Climatology, 38(4), 1718-1736.

[14] Tipaporn Homdee, Kobkiat Pongput, and Shinjiro Kanae. (2016). A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin, Thailand. Agriculture and Natural Resources. 50 (2016), 211-219.

[15] Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, 23(7), 1696-1718.

[16] Wang, F., Wang, Z., Yang, H., & Zhao, Y. (2020). Study of the temporal and spatial patterns of drought in the Yellow River basin based on SPEI. Science of the Total Environment, 756, 143729.