

การพัฒนาดัชนีความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย Development of a Climate-Mapped Educational Risk Index for Thailand

สิวะโชติ ศรีสุทธิยากร¹ กนิษฐ์ ศรีเคลือบ^{1*} ประภาศิริ รัชชประภาพรกุล¹ และ วาทีนี อมรไพศาลเลิศ¹

Siwachot Srisuttiyarkorn¹ Kanit Sriklaub^{1*} Prapasiri Ratchaprapapornkul¹

and Watinee Amornpaisarnler¹

(Received: December 26, 2025; Revised: February 26, 2026; Accepted: March 2, 2026)

บทคัดย่อ

ระบบการศึกษาของโลกและประเทศไทยกำลังเผชิญกับความเปราะบางจากภัยพิบัติที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทและพื้นที่ที่มีข้อจำกัดทางเศรษฐกิจและสังคม แม้ว่าการรอบนโยบายระดับโลกจะให้ความสำคัญกับการปกป้องเด็กจากความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อม แต่ดัชนีชี้วัดที่มีอยู่ยังขาดความละเอียดเชิงพื้นที่และไม่ได้ผนวกผลลัพธ์ทางการศึกษาเข้าไปในโครงสร้างโดยตรง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาดัชนีเชิงพื้นที่ของความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศ (Climate-Mapped Educational Risk Index: CMER) และ (2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีดังกล่าวกับปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ โรงเรียน และนักเรียน การวิจัยใช้ข้อมูลคะแนน O-NET ระดับโรงเรียนจาก 4 รายวิชาหลักของโรงเรียน 30,112 แห่งในช่วง พ.ศ. 2560–2564 ร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศความละเอียดสูงจากโครงการ SEACLID/CORDEX-SEA โดยเปรียบเทียบกับระยะฐาน พ.ศ. 2513–2550 ดัชนี CMER พัฒนาขึ้นด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักระหว่างตัวแปรภูมิอากาศสุดขีดกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และจัดกลุ่มโรงเรียนตามระดับความเสี่ยงด้วยเกณฑ์ ROC จากนั้น ใช้การถดถอยแบบ Elastic Net วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CMER กับปัจจัยเสี่ยงรายเขตพื้นที่การศึกษา และสร้างเมทริกซ์ความเสี่ยง-ความสำคัญ (Risk-Importance Matrix: RIM) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย

ผลการวิจัยพบว่า ระยะเวลาของปรากฏการณ์ฝนตกสุดขั้วเป็นมิติเดียวที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอย่างมีนัยสำคัญ โดยโรงเรียนในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคใต้มีแนวโน้มเสี่ยงสูง และผลการวิเคราะห์ RIM พบว่าปัจจัยทางการศึกษามีส่วนขยายขนาดความเสี่ยงแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ การออกแบบมาตรการที่จำเพาะต่อบริบทจึงมีความจำเป็น ดัชนี CMER และ RIM เป็นกรอบข้อมูลที่สามารถใช้ระบุความเสี่ยงและชี้เป้าการจัดสรรทรัพยากรเพื่อสร้างระบบการศึกษาที่เสมอภาคและยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

คำสำคัญ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความเสี่ยงทางการศึกษา

ดัชนีความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศ เมทริกซ์ความเสี่ยง-ความสำคัญ

¹ หน่วยการวิจัยทางการศึกษาพิเศษและการเรียนรวม คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹ Special and Inclusive Education Research Unit, Faculty of Education, Chulalongkorn University
งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากองค์การยูนิเซฟ (UNICEF) ประเทศไทย

This research was funded by UNICEF Thailand

* Corresponding Author E-mail: kanit.s@chula.ac.th

Abstract

Education systems worldwide, including Thailand's, face increasing vulnerability to climate change-related disasters, particularly in rural and socioeconomically disadvantaged areas. Although global policy frameworks emphasize protecting children from environmental risks, existing indices lack spatial granularity and do not directly incorporate educational outcomes into their structure. This study aims to (1) develop a spatial index of educational risk linked to climate conditions—the Climate-Mapped Educational Risk Index (CMER)—and (2) analyze the relationships between this index and geographic, school, and student factors. The study integrated school-level O-NET scores from four core subjects across 30,112 schools during 2017–2021 with high-resolution climate data from the SEACLID/CORDEX-SEA project covering the same period relative to a baseline of 1970–2007. The CMER Index was developed using Principal Component Analysis of extreme climate variables and student achievement, with schools classified by risk levels using ROC-based criteria. Elastic Net regression was then applied to analyze relationships between CMER scores and risk factors across educational service areas, followed by the construction of a Risk-Importance Matrix (RIM) to support policy decision-making.

The results revealed that the duration of extreme precipitation events was the only dimension showing a significant structural relationship with student achievement. Schools in the Northern, Northeastern, Central, and Southern regions exhibited higher risk levels. RIM analysis indicated that educational factors amplify risk to varying degrees across different areas, underscoring the need for context-specific interventions. The CMER Index and RIM provide a data-driven framework for identifying climate-linked educational risks and targeting resource allocation to build a more equitable and climate-resilient education system.

Keywords: climate change, educational risk, Climate-Mapped Educational Risk Index, Risk-Importance Matrix

บทนำ

เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว เช่น ฝนตกหนักยืดยาว น้ำท่วมรุนแรง และคลื่นความร้อน กำลังทวีความถี่และความรุนแรงขึ้นทั่วโลก (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023) ก่อให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรงและซับซ้อนต่อความต่อเนื่องทางการเรียนรู้ โดยเฉพาะกับเด็กซึ่งเป็นกลุ่มเปราะบางที่สุด (Auer-Frege et al., 2024; UNICEF, 2021) สำหรับประเทศไทยซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีความเสี่ยงสูง (Eckstein et al., 2021) ภัยพิบัติทางสภาพภูมิอากาศได้ส่งผลกระทบเป็นวงกว้าง เช่น การสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างพื้นฐานของโรงเรียน การหยุดชะงักของการเดินทาง ไปจนถึงการปิดสถานศึกษาชั่วคราว ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสในการเรียนรู้ และยิ่งซ้ำเติมความเหลื่อมล้ำด้านการศึกษาที่มีอยู่เดิมให้รุนแรงยิ่งขึ้น (Auer-

Frege et al., 2023; Thampanishvong et al., 2022; UNICEF, 2021) ถึงแม้จะมีการตระหนักเกี่ยวกับปัญหาดังกล่าว แต่ปัจจุบันยังขาดเครื่องมือหรือดัชนีที่สามารถวัดและประเมินระดับผลกระทบทางการศึกษาในแต่ละพื้นที่ได้อย่างเป็นระบบ โดยดัชนีชี้วัดระดับโลกที่มีอยู่ยังขาดความละเอียดเชิงพื้นที่และไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อจับความแปรปรวนของระบบการศึกษาโดยตรง

ช่องว่างในการประเมินความเสี่ยงนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเข้าถึงข้อมูลสภาพภูมิอากาศของประเทศในระดับพื้นที่ย่อยที่มีความสม่ำเสมอและครอบคลุมได้เพียงพอ ส่งผลให้การประเมินความเสี่ยงของโรงเรียนในพื้นที่ห่างไกล พื้นที่ภูเขา หรือชายฝั่ง ซึ่งมักมีความเสี่ยงเฉพาะถิ่นที่แตกต่างกันและเป็นไปอย่างจำกัด (Auer-Frege et al., 2023; Auer-Frege et al., 2024; Adler et al., 2022) ขณะเดียวกัน แผนนโยบายการศึกษาเชิงพื้นที่จะให้ความสำคัญกับการใช้ข้อมูลเพื่อการพัฒนา (area-based education) แต่ฐานข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ยังไม่พบว่ามีกรณีผลพวงภูมิอากาศเข้ามาในกรอบการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ทำให้การชี้เป้าเพื่อจัดสรรทรัพยากรและการสนับสนุนยังคงพึ่งพาการรับรู้ทั่วไป มากกว่าการอ้างอิงหลักฐานเชิงประจักษ์ที่เชื่อมโยงความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศเข้ากับบริบทของโรงเรียนได้อย่างแท้จริง

จากสภาพข้างต้นประเด็นปัญหาวิจัยจึงไม่ใช่การระบุพื้นที่ที่เผชิญเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว แต่คือการสร้างกรอบวิเคราะห์ที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลสภาพภูมิอากาศความละเอียดสูงเข้ากับผลลัพธ์ทางการศึกษาในระดับโรงเรียน เพื่อใช้เป็นสารสนเทศเชิงลึกที่สามารถอธิบายพลวัตของความเสี่ยงในแต่ละบริบทพื้นที่ การวิเคราะห์ในระดับพื้นที่ย่อยนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากกลไกของความเสี่ยงทางการศึกษานั้นมีความแตกต่างกันไปตามบริบท ซึ่งสนับสนุนโดยงานวิจัยของ Srisuttiyakorn (2019) ที่พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประสิทธิภาพการบริหารจัดการของโรงเรียนและระดับฐานะทางเศรษฐกิจของครอบครัวกับความเหลื่อมล้ำทางการศึกษานั้นมีความแตกต่างกันไปตามเขตพื้นที่การศึกษา สะท้อนให้เห็นถึงความหลากหลายของบริบทที่ไม่สามารถใช้มาตรการเดียวกันครอบคลุมทุกพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทำความเข้าใจความแตกต่างนี้จึงจะนำไปสู่การจัดลำดับความสำคัญของการแทรกแซงเชิงนโยบายที่มีเป้าหมายชัดเจน อย่างไรก็ตาม การวางแผนการแทรกแซงเชิงนโยบายที่มีประสิทธิภาพควรพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลหรือเป็นตัวขับเคลื่อนความเสี่ยงดังกล่าวโดยเฉพาะปัจจัยเชิงโครงสร้างหรือปัจจัยทางการศึกษาในพื้นที่

จากสภาพข้างต้นและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถวิเคราะห์ช่องว่างทางวิชาการที่สำคัญสามประการ ประการแรก ดัชนีความเสี่ยงที่มีอยู่ในระดับสากลขาดความละเอียดเชิงพื้นที่ในระดับโรงเรียนหรือเขตพื้นที่การศึกษา ประการที่สอง ยังไม่มีดัชนีที่ผนวกผลลัพธ์ทางการเรียนรู้ที่วัดได้จริงเข้าไปในโครงสร้างของดัชนีโดยตรง ดัชนีที่มีอยู่มักใช้ตัวแปรแทน (proxy variables) เช่น อัตราการเข้าเรียนหรือสัดส่วนเด็กด้อยโอกาส เพื่อบ่งชี้ความเปราะบางทางการศึกษา และรวมคะแนนของตัวแปรแทนดังกล่าวเข้ากับมิติการเผชิญภัยด้วยโมเดลเชิงบวก (additive model) โดยมีการกำหนดน้ำหนักของคะแนนแต่ละมิติจากกรอบแนวคิดทฤษฎีหรือสมมุติฐานของผู้วิจัยที่กำหนดไว้ล่วงหน้า วิธีการนี้ทำให้ไม่สามารถตรวจจับได้ว่ามิติใดของการเผชิญภัยภูมิอากาศมีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างกับการลดลงของผลสัมฤทธิ์ที่วัดได้จริง และยังไม่สามารถสำรวจมิติแฝงของความเสี่ยงทางการศึกษาที่ปรากฏการณ์ในทั้งสองมิติแปรผันร่วมกันเชิงประจักษ์ได้ ประการที่สาม แผนนโยบายการจัดการศึกษาเชิงพื้นที่ (area-based education) จะให้ความสำคัญกับการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ แต่ยังไม่มีการอบวิเคราะห์ที่บูรณาการผลพวงภูมิอากาศเข้ากับบริบทของโรงเรียนอย่างเป็นระบบ

ทำให้การชี้เป้าเพื่อจัดสรรทรัพยากรยังคงอิงการรับรู้ทั่วไปมากกว่าหลักฐานเชิงประจักษ์ ช่องว่างทั้งสามประการนี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาดัชนีที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ ผนวกผลลัพธ์ทางการเรียนรู้ที่วัดได้จริง และสามารถค้นพบความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่างภูมิอากาศกับการศึกษาจากข้อมูลเชิงประจักษ์ซึ่งนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาดัชนีเชิงพื้นที่ของความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีเชิงพื้นที่ของความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กับปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ ลักษณะของโรงเรียน และลักษณะของนักเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลในการวิจัยจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้งานเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นข้อมูลสำหรับสร้างดัชนี CMER ประกอบด้วยสองมิติ ได้แก่ มิติการเผชิญภัยภูมิอากาศ (climate hazard exposure) ซึ่งวัดจากตัวชี้วัดสภาพภูมิอากาศสุดขีดครอบคลุมด้านความเข้ม ความถี่ และระยะเวลา และมิติความเปราะบางทางการศึกษา (educational vulnerability) ซึ่งวัดจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (O-NET) ในฐานะตัวชี้วัดที่สะท้อนว่าการเรียนรู้สะสมได้รับผลกระทบจนปรากฏเป็นผลลัพธ์ที่วัดได้จริงหรือไม่ ส่วนที่สองเป็นข้อมูลลักษณะโรงเรียนและนักเรียน ซึ่งใช้วิเคราะห์ปัจจัยที่ขยายหรือลดทอนความเปราะบางดังกล่าวในแต่ละบริบทพื้นที่ตามวัตถุประสงค์ที่ 2 รายละเอียดมีดังนี้

1.1 ข้อมูลภูมิอากาศ (climate data) ข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้ในงานวิจัยครอบคลุม 2 ช่วงเวลา คือ ระยะเวลา (พ.ศ. 2513–2550) และระยะศึกษา (พ.ศ. 2560–2564) จากโครงการ SEACLI/CODEX Southeast Asia (Phase II) ซึ่งได้จากการจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคและ downscaling ให้มีความละเอียด 25×25 กม. ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยทั้งหมด 2,619 กริด ตัวชี้วัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ปรากฏการณ์ฝนตกสุดขั้ว 7 ตัว และปรากฏการณ์อุณหภูมิสุดขั้ว 11 ตัว ครอบคลุม 3 มิติการวัด ได้แก่ ความเข้ม ความถี่ และระยะเวลา รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 (Ngo-Duc et al., 2016)

1.2 ข้อมูลทางการศึกษา (educational data) ข้อมูลทางการศึกษา หรือข้อมูลที่ไม่ใช่สภาพภูมิอากาศ (non-climate data) ที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย ข้อมูลคุณลักษณะของโรงเรียน และคุณลักษณะของนักเรียน

ข้อมูลคุณลักษณะของโรงเรียนเป็นข้อมูลของโรงเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานในปีการศึกษา 2560 และ 2564 ครอบคลุมโรงเรียน 30,112 แห่งทั่วประเทศ จำแนกเป็นโรงเรียนในเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา (สพป.) และเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา (สพม.) ทั้งนี้ในการวิเคราะห์เลือกใช้เฉพาะโรงเรียนที่มีข้อมูลครบถ้วนทุกรายวิชาและทุกปีในช่วง พ.ศ. 2560–2564 ซึ่งทำให้จำนวนโรงเรียนที่ใช้ในการวิเคราะห์จริงมี 26,311 แห่ง (ร้อยละ 87.38)

ข้อมูลคุณลักษณะของโรงเรียนที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย (1) ข้อมูลทั่วไป ได้แก่ ชื่อโรงเรียน ขนาดโรงเรียน (ขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ และใหญ่พิเศษ) สังกัดของโรงเรียน และที่อยู่ของโรงเรียน (2) พิกัด

ภูมิศาสตร์ของโรงเรียน ซึ่งได้จากการดึงข้อมูลผ่าน Google Maps API (Google, 2024) โดยค้นหาพิกัดอิงจากชื่อและที่อยู่ของโรงเรียน (3) ระยะห่างจากศูนย์กลางอำเภอ (กิโลเมตร) ซึ่งคำนวณจากพิกัดของโรงเรียนไปยังจุดอ้างอิงที่ว่าการอำเภอในแต่ละพื้นที่ โดยใช้สูตร Haversine เพื่อให้ได้ระยะทางทางภูมิศาสตร์ที่มีความแม่นยำ และ (4) ระดับความยากลำบากในการเข้าถึงโรงเรียน ซึ่งได้จากประกาศของ สพฐ. ในปีงบประมาณ 2565–2566 เกี่ยวกับการกำหนดโรงเรียนในพื้นที่พิเศษ เช่น พื้นที่สูงหรือพื้นที่เกาะ โดยจำแนกความยากลำบากออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ไม่ยากลำบาก (not difficult) จนถึงยากลำบากมากที่สุด (most difficult) และ (5) ข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานและการเชื่อมต่อ เกี่ยวข้องกับการมีและลักษณะของสาธารณูปโภคของโรงเรียน ได้แก่ ไฟฟ้า น้ำประปา และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของโรงเรียน ข้อมูลส่วนนี้เก็บรวบรวมด้วยเทคนิค web scraping จากเว็บไซต์ระบบข้อมูลสินทรัพย์ สพฐ. ในเดือนกันยายน 2567

ข้อมูลคุณลักษณะนักเรียน เป็นข้อมูลระดับโรงเรียน ประกอบด้วย (6) ร้อยละของนักเรียนในโรงเรียนที่ครอบครัวยากจน โดยตัวแปรนี้ถูกจัดกระทำให้เป็นตัวแปรดัมมี่โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อโรงเรียนจำนวนนักเรียนยากจนมากกว่าร้อยละ 50 และ (7) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ใช้คะแนน O-NET ระดับโรงเรียนของนักเรียนระหว่างปี พ.ศ. 2560–2564 จำแนกตามระดับชั้น ป.6 ม.3 และ ม.6 ในรายวิชาคณิตศาสตร์ ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และวิทยาศาสตร์ ข้อมูลนี้ได้จากฐานข้อมูลผู้สอบ O-NET ของสถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (สทศ.) โดยคะแนน O-NET ถูกนำไปใช้ในสองบทบาทในการวิเคราะห์ บทบาทแรกคือเป็นข้อมูลนำเข้าร่วมกับตัวชี้วัดภูมิอากาศสุดขีดเพื่อสร้างดัชนี CMER และบทบาทที่สองใช้เป็นตัวแปรอ้างอิงในการกำหนดจุดตัดด้วย ROC เพื่อปรับแต่งให้ระดับคะแนน CMER ที่ใช้จำแนกความเสี่ยงมีความสอดคล้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ต่ำกว่าเกณฑ์ ซึ่งทำให้สามารถรับประกันความสอดคล้องกันระหว่างสิ่งที่ดัชนี CMER วัดกับเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินใจระดับความเสี่ยง

2. การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพัฒนาดัชนีความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศ (Climate-Mapped Educational Risk Index: CMER Index) ผลการวิเคราะห์ส่วนนี้ใช้ตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการศึกษากับดัชนี CMER ที่พัฒนาขึ้นภายในแต่ละเขตพื้นที่การศึกษา ตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

ตาราง 1 ข้อมูลภูมิอากาศด้านปรากฏการณ์ฝนตกสุดขีดและอุณหภูมิสุดขีด

ตัวชี้วัด	คำจำกัดความ	หน่วย	หมวดหมู่
ตัวชี้วัดปรากฏการณ์ฝนตกสุดขีด (extreme precipitation events)			
Rx1day	ปริมาณฝนสะสมสูงสุดใน 1 วัน	มิลลิเมตร (mm)	ความเข้ม (intensity)
Rx5day	ปริมาณฝนสะสมสูงสุดใน 5 วัน	มิลลิเมตร (mm)	
R95p	ผลรวมรายปีของปริมาณฝนประจำวันที่มีมากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	มิลลิเมตร (mm)	
R99p	ผลรวมรายปีของปริมาณฝนประจำวันที่มีมากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99	มิลลิเมตร (mm)	
R10mm	จำนวนวันที่มีปริมาณฝน ≥ 10 มม.	วัน (days)	ความถี่
R20mm	จำนวนวันที่มีปริมาณฝน ≥ 20 มม.	วัน (days)	
CWD	จำนวนวันที่ฝนตกต่อเนื่องสูงสุดต่อปี (ฝน ≥ 1 มม.)	วัน (days)	ระยะเวลา

ตัวชี้วัด	คำจำกัดความ	หน่วย	หมวดหมู่
ตัวชี้วัดปรากฏการณ์อุณหภูมิสุดขีด (extreme temperature events)			
TXx	ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันที่สูงสุดในแต่ละเดือน	องศาเซลเซียส (°C)	ความเข้ม (Intensity)
TNx	ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันที่สูงสุดในแต่ละเดือน	°C	
TXn	ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันที่ต่ำสุดในแต่ละเดือน	°C	
TNn	ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันที่ต่ำสุดในแต่ละเดือน	°C	
DTR	ค่าผลต่างเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละเดือน	°C	
TX10p	ร้อยละของวันที่ Tmax < เปอร์เซ็นไทล์ที่ 10	% ของวัน	ความถี่
TN10p	ร้อยละของวันที่ Tmin < เปอร์เซ็นไทล์ที่ 10	% ของวัน	
TX90p	ร้อยละของวันที่ Tmax > เปอร์เซ็นไทล์ที่ 90	% ของวัน	
TN90p	ร้อยละของวันที่ Tmin > เปอร์เซ็นไทล์ที่ 90	% ของวัน	
CSD	จำนวนวันที่ Tmin < เปอร์เซ็นไทล์ที่ 10 ต่อเนื่องกันอย่างน้อย 6 วัน	วัน	ระยะเวลา
WSD	จำนวนวันที่ Tmax > เปอร์เซ็นไทล์ที่ 90 ต่อเนื่องกันอย่างน้อย 6 วัน	วัน	(Duration)

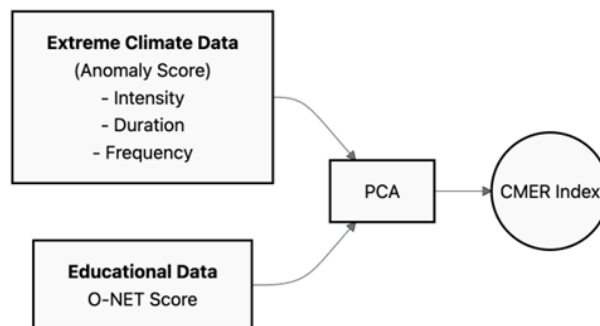
2.1 การพัฒนาดัชนี CMER ดัชนีเชิงพื้นที่ของความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ใช้ในการวิจัยนี้ ถูกออกแบบให้เติมเต็มช่องว่างของการสร้างดัชนีวัดความเสี่ยงแบบเดิมที่ใช้กันในปัจจุบัน เช่น Children's Climate Risk Index (CCRI) ของ UNICEF (2021) และ WorldRiskIndex (Bündnis Entwicklung Hilft, 2024) ที่มักสร้างขึ้นจากการนิยามตัวชี้วัดออกเป็น 2 มิติ ได้แก่ มิติการเผชิญภัย (exposure) และความเปราะบาง (vulnerability) แยกกันตามกรอบทฤษฎี จากนั้นรวมคะแนนของตัวชี้วัดดังกล่าวเข้าด้วยกันด้วยด้วยโมเดลเชิงบวก (additive model) วิธีการนี้มีข้อจำกัดสำคัญ 2 ประการ ประการแรกคือ ไม่สามารถระบุได้จากข้อมูลว่าการเผชิญภัยทางภูมิอากาศดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ทางการศึกษาอย่างไร ประการที่สองที่ผ่านมามีดัชนีดังกล่าวมักใช้ข้อมูลทางการศึกษาในมิติที่เน้นการบ่งชี้ความเปราะบางทางสังคม เช่น อัตราการเข้าเรียน หรือสัดส่วนเด็กด้อยโอกาส โดยไม่ได้ผนวกผลลัพธ์ทางการเรียนเข้าไปประเด็นนี้เป็นช่องว่างให้ดัชนีดังกล่าวไม่สามารถตรวจจับได้ว่าความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับการลดลงของผลลัพธ์การเรียนรู้ในระดับใด และพื้นที่ใด

งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบแนวคิดของการวัดความเสี่ยงที่แตกต่างออกไป โดยพิจารณาความเสี่ยงทางการศึกษาในฐานะปรากฏการณ์ที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่างการเผชิญภัยภูมิอากาศกับความเปราะบางของระบบการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับกรอบการประเมินความเสี่ยงภัยพิบัติของ UNDRR (2015) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ปรับแนวคิดดังกล่าวใน 2 ประการ ประการแรก แทนที่จะวัดความเปราะบางทางการศึกษาด้วยตัวแปรแทน (proxy variable) เช่น อัตราการเข้าเรียน หรือสัดส่วนเด็กด้อยโอกาส ซึ่งเป็นแนวทางที่ดัชนีความเสี่ยงระดับโลกส่วนใหญ่ใช้ งานวิจัยนี้นิยามความเปราะบางทางการศึกษาเป็นผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านผลการสอบ O-NET ที่วัดได้จริงในระดับโรงเรียน ประการที่สอง งานวิจัยนี้มองว่า ความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศเป็นสภาพที่ปรากฏขึ้นในมิติแฝง (latent dimension) ที่การเผชิญภัยทางภูมิอากาศและการด้อยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแปรผันร่วมกันในทิศทางตรงข้าม และมีนัยสำคัญในเชิงปฏิบัติ เรียกดัชนีที่สร้างขึ้นจากแนวคิดนี้ว่าดัชนีความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศ (CMER)

การสร้างดัชนี CMER เริ่มจากการใช้ข้อมูลภูมิอากาศ (ตัวชี้วัดฝนตก และอุณหภูมิสุดขีด) มาคำนวณเป็นคะแนนความผิดปกติ (anomaly scores) ที่สะท้อนความเบี่ยงเบนของสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาจากการเปรียบเทียบข้อมูลภูมิอากาศ 2 ระยะ ได้แก่ ระยะศึกษา (พ.ศ. 2560 - 2564) กับระยะฐาน (พ.ศ. 2513 - 2550) คะแนนความผิดปกตินี้ถูกนำมาพหุคูณกับข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (คะแนน O-NET ระดับโรงเรียน จำนวน 4 รายวิชา) จำแนกตามระดับชั้น ภาพ 1 แสดงกรอบการวิเคราะห์ที่ใช้สร้างดัชนี CMER ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis) วิธีการนี้เป็นเทคนิคหนึ่งในกลุ่มการเรียนรู้ของเครื่องแบบไม่มีการกำกับ (unsupervised learning) ที่ช่วยลดมิติข้อมูลและเน้นรักษาความแปรปรวนสำคัญของข้อมูลต้นฉบับเอาไว้ให้มากที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้คือ คะแนนองค์ประกอบหลักที่สะท้อนความเสี่ยงทางการศึกษาที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในระดับโรงเรียนอย่างเป็นระบบ

คะแนนองค์ประกอบหลักถูกแปลงเป็นคะแนนมาตรฐานที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบปกติ (normal cumulative distribution function: CDF) การแปลงนี้ช่วยให้มีเกณฑ์ที่ชัดเจนในเชิงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์และเพิ่มความแกร่งต่อค่าผิดปกติ (outlier) ซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์เพื่อจำแนกกลุ่มเสี่ยงด้วย ROC และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ สามารถดำเนินการได้อย่างมีความหมายและมีความแม่นยำมากขึ้น

การกำหนดคะแนนจุดตัดให้กับดัชนี CMER ผู้วิจัยจำแนกระดับความเสี่ยงเป็น 3 ระดับ (ต่ำ ปานกลาง สูง) โดยใช้การวิเคราะห์ Receiver Operating Characteristic (ROC) เพื่อหาจุดตัดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนถูกแปลงเป็น Z-score ($Z < -0.5$ = ต่ำ, $Z < -2.5$ = ต่ำมาก) และใช้เป็น ตัวแปรอ้างอิง (ground truth) ในการคำนวณค่าความไว (sensitivity) และค่าความจำเพาะ (specificity) เพื่อเลือกจุดตัดที่รักษาสมดุลระหว่างสองค่าดังกล่าว (Unal, 2017)



ภาพ 1 กรอบการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาดัชนี CMER

2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการศึกษากับดัชนี CMER ผู้วิจัยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการศึกษาและดัชนี CMER ที่พัฒนาขึ้นตามกรอบดังภาพ 2 โดยปัจจัยทางการศึกษาที่ใช้วิเคราะห์มี 6 ตัวแปร ได้แก่ (1) การเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก (small school) เป็นตัวแปรดัมมี่ = 1 เมื่อเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก ซึ่งสะท้อนข้อจำกัดด้านทรัพยากรการบริหารจัดการ (2) ระยะทางถึงศูนย์กลางอำเภอ (school distance) คำนวณจากพิกัดโรงเรียนกับที่ว่าการอำเภอใกล้ที่สุด แปลงเป็นคะแนนมาตรฐานแบบ Max-Min (0-1) (3) ความยากลำบากในการเข้าถึง (hard to reach) ดัมมี่ = 1 เมื่อมีระดับความยากลำบากตั้งแต่ “ยากมาก” ขึ้นไป ซึ่งทั้ง (2) และ (3) สะท้อนความท้าทายในการเดินทาง โดยเฉพาะช่วงเกิดสภาพภูมิอากาศสุดขีด (4) การขาดแคลนโครงสร้างพื้นฐาน (lack of infrastructure) ดัมมี่ = 1 เมื่อโรงเรียนขาดไฟฟ้า น้ำประปา หรืออินเทอร์เน็ตที่มี

คุณภาพอย่างน้อย 1 ด้าน (5) ร้อยละนักเรียนยากจนสูง (poor family) ดัชนี = 1 เมื่อมีนักเรียนจากครอบครัวยากจนเกิน 50% (ใช้เฉพาะโรงเรียนประถมศึกษาเนื่องจากข้อจำกัดข้อมูล) (6) ความเป็นนักเรียนอายุน้อย (younger student) ดัชนี = 1 เมื่อนักเรียนอยู่ระดับชั้น ป.6

ในการวิเคราะห์ ผู้วิจัยใช้โมเดลการวิเคราะห์การถดถอยแบบ Elastic Net เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระภายใต้ปัญหาความสัมพันธ์กันสูงระหว่างตัวแปรทำนาย (multicollinearity) โดยทำการปรับแต่งไฮเปอร์พารามิเตอร์ของโมเดลด้วยเทคนิค 5-fold cross-validation ที่ทำซ้ำ 3 ครั้งจำแนกตามเขตพื้นที่การศึกษาจำนวน 243 เขตพื้นที่ จากนั้นคัดเลือกตัวแปรทำนายที่มีค่า Variable Importance $\geq 10\%$ ไปวิเคราะห์ด้วยการถดถอยเชิงเส้นปกติ (OLS) อีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ตีความเชิงอัตราการเปลี่ยนแปลงของดัชนี CMER ได้ชัดเจน โดยผลค่าสัมประสิทธิ์จาก OLS จากแต่ละเขตพื้นที่การศึกษาได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

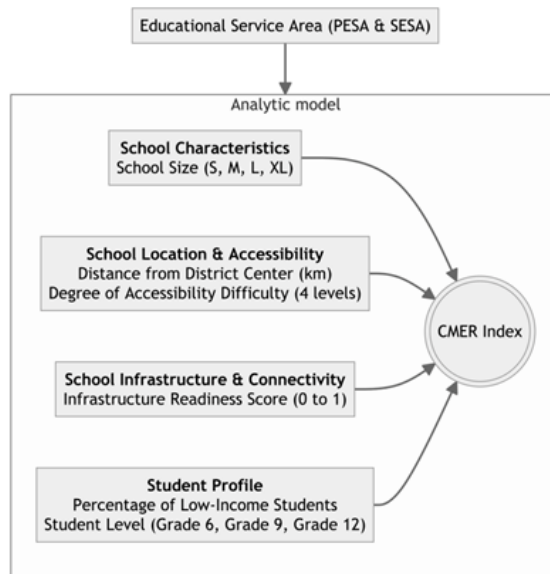
การเลือกใช้ Elastic Net มีเหตุผลเฉพาะจากลักษณะข้อมูลในงานวิจัยนี้ จากตัวแปรทางการศึกษาทั้ง 6 ตัว มีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุกันสูงโดยโครงสร้าง (multicollinearity) เนื่องจากธรรมชาติของโรงเรียนในประเทศไทยที่มีคุณลักษณะคล้ายกันมักมีแนวโน้มที่จะมีสภาพเชิงบริบทและภูมิหลังที่ใกล้เคียงกันด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบริดจ์ (ridge regression) สามารถจัดการปัญหานี้ได้ดีผ่าน L2 penalty อย่างไรก็ตาม L2 penalty ยังขาดกลไกคัดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องออก ซึ่งการวิเคราะห์การถดถอยแบบลาสโซ (lasso regression) สามารถแก้ไขได้ผ่าน L1 penalty ที่ช่วยให้โมเดลกระชับและตีความได้ง่าย อย่างไรก็ตามภายใต้ความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุ การถดถอยแบบลาสโซมีแนวโน้มเลือกเพียงตัวแปรเดียวในกลุ่มที่สัมพันธ์กันและกำหนดให้ตัวแปรที่เหลือมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นศูนย์ ซึ่งไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่ต้องการระบุว่าปัจจัยใดบ้างขับเคลื่อนความเสี่ยงในแต่ละพื้นที่ การสูญเสียตัวแปรที่มีนัยสำคัญเชิงเนื้อหาย่อมกระทบต่อความสมบูรณ์ของสารสนเทศเชิงลึกที่ได้การวิเคราะห์ การถดถอยแบบ Elastic Net จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดในบริบทนี้ เนื่องจากรวมจุดเด่นของทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน กล่าวคือรักษาตัวแปรในกลุ่มที่สัมพันธ์กันไว้ในโมเดลพร้อมกันผ่าน L2 penalty ขณะที่ยังคงกลไกการคัดตัวแปรที่ไม่จำเป็นออกของ Lasso ไว้ได้

ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำเสนอในรูปแบบเมทริกซ์ความเสี่ยงและความสำคัญ (Risk-Importance Matrix: RIM) เพื่อให้สามารถจำแนกเขตพื้นที่ตามระดับความเสี่ยงและความสำคัญเชิงบริบท และประเมินว่าปัจจัยทางการศึกษาใดบ้าง ที่มีความสัมพันธ์กับระดับความรุนแรงหรือความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศของแต่ละเขตพื้นที่ การนำเสนอ RIM นี้ประยุกต์แนวคิดจาก Risk-Impact Matrix และ Importance-Performance Matrix (Landell, 2016; Rivadeneira Moreira, 2025) ประกอบด้วย (1) คำนวณค่า Relative Importance (RI) จากอัตราส่วนของค่าสัมบูรณ์ Variable Importance (VIP) ต่อผลรวม VIP ทั้งหมดในพื้นที่ และแปลงเป็นร้อยละ และ (2) จำแนกพื้นที่ด้วยแผนภาพ RIM โดยใช้ค่า RI (แกน X) และค่ามัธยฐานของดัชนี CMER (แกน Y) เพื่อจัดพื้นที่ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ กลุ่มเร่งพัฒนา กลุ่มเฝ้าระวัง และกลุ่มความเสี่ยงต่ำ

(1) **กลุ่มเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ (strategic focus)** คือกลุ่มเขตพื้นที่การศึกษาที่มีมัธยฐาน CMER $\geq .60$ และ RI $\geq 40\%$ หรือมี RI เด่นแม้ CMER ต่ำกว่า .60 ขอบเขตของกลุ่มจำแนกด้วยเส้นโค้งจาก (RI=40%, CMER=1.00) ถึง (RI=100%, CMER=.50) เพื่อครอบคลุมพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสัมพันธ์กับปัจจัยเด่นอย่างชัดเจน

(2) **กลุ่มเร่งพัฒนา (development priority)** เป็นกลุ่มของเขตพื้นที่การศึกษาที่มีมัธยฐาน CMER ระหว่าง .20-.60 และ RI $\geq 20\%$ โดยใช้เส้นทแยงจาก (RI=0%, CMER=.60) ถึง (RI=100%, CMER=.20) เพื่อระบุพื้นที่

ที่เสี่ยงปานกลางและมีปัจจัยเด่นที่เหมาะสมกับการแทรกแซงเชิงป้องกัน (3) กลุ่มเฝ้าระวัง (monitoring) คือเขตพื้นที่ที่ตกอยู่บริเวณใต้เส้นทแยงมุมแต่ยังมีค่ามัธยฐานของ CMER > .20 บ่งชี้ว่ามีความเสี่ยงต่ำถึงปานกลางแต่ยังไม่พบปัจจัยเด่น และ (4) กลุ่มความเสี่ยงต่ำ (low-risk) คือเขตพื้นที่ที่ตกอยู่ในบริเวณพื้นที่ใต้เส้นโค้งจาก (RI=0%, CMER=.20) ถึง (RI=50%, CMER=0.00) แสดงถึงพื้นที่ที่มีทั้งความเสี่ยงและความสำคัญต่ำ



ภาพ 2 กรอบการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางการศึกษากับดัชนี CMER

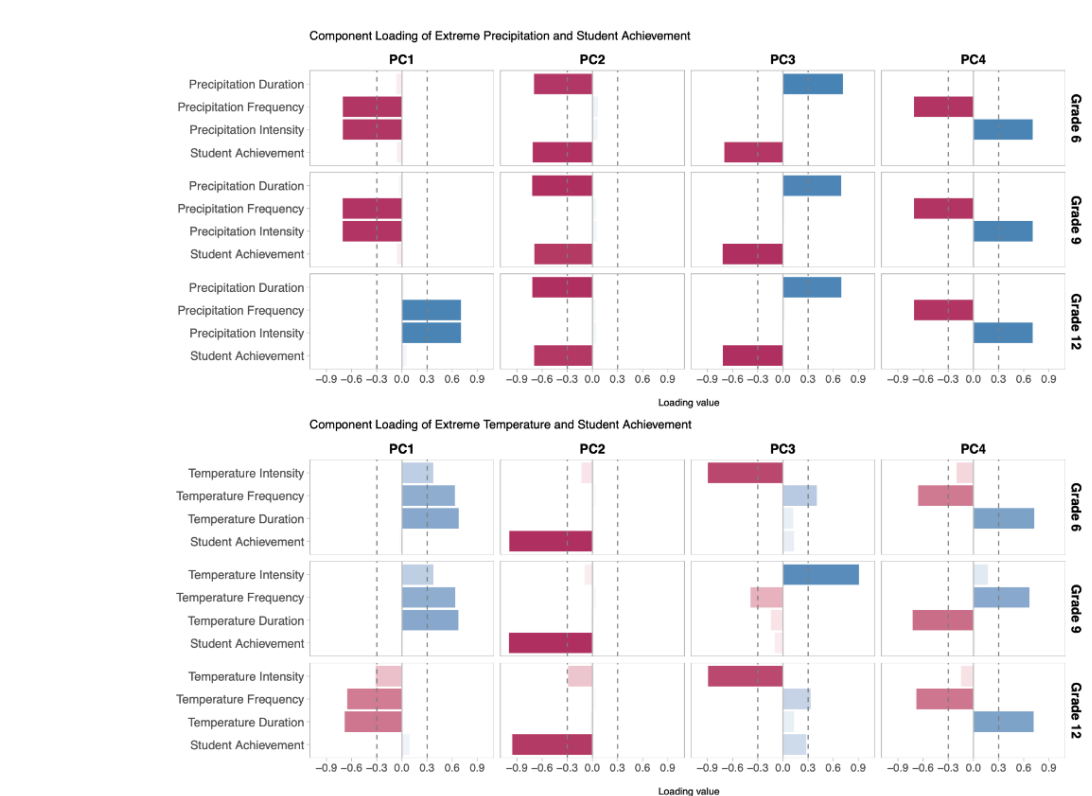
ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาดัชนี CMER

การพัฒนาดัชนี CMER ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ที่แยกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ปรากฏการณ์ฝนตกสุดซัวและอุณหภูมิสุดซัวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยวิเคราะห์แยกตามระดับชั้น ป.6 (Grade 6) ม.3 (Grade 9) และ ม.6 (Grade 12) ผลการวิเคราะห์พบว่า องค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) ของแต่ละการวิเคราะห์สามารถอธิบายความแปรปรวนได้มากที่สุดประมาณ 40% ขณะที่ PC2 และ PC3 อธิบายได้ประมาณ 25% แต่ละองค์ประกอบและ PC4 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ประมาณ 7-8% อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์นี้เกณฑ์การเลือกองค์ประกอบหลักมุ่งค้นหาองค์ประกอบหลักที่ตัวแปรภูมิอากาศสุดซัวและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีน้ำหนักองค์ประกอบหลักในทิศทางตรงข้ามอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนการเกิดร่วมกันเชิงโครงสร้างที่มีความหมายเป็นความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศสุดซัว ทั้งนี้ ความเสี่ยงดังกล่าวโดยธรรมชาติเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเฉพาะบางพื้นที่และบางบริบท ไม่ใช่ปรากฏการณ์ที่ครอบคลุมระบบการศึกษาทั้งหมด ค่าความแปรปรวนที่ PC3 อธิบายได้ประมาณ 25% จึงสะท้อนว่าการเกิดร่วมกันเชิงโครงสร้างระหว่างการเผชิญภัยภูมิอากาศและการด้อยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีอยู่จริงในระบบการศึกษา แต่อาจเกิดขึ้นเพียงบางส่วนและกระจายอยู่ในบางพื้นที่และบางบริบท ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของความเสี่ยงเชิงพื้นที่ที่งานวิจัยนี้มุ่งตรวจจับ

แผนภูมิแท่งในภาพ 3 แสดงค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (component loadings) จากการวิเคราะห์ PCA จำแนกตามประเภทตัวแปร ได้แก่ ตัวชี้วัดความชื้น ความถี่ และระยะเวลาของปรากฏการณ์ภูมิอากาศสุดซัว (ฝนตก

และอุณหภูมิ) และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยแกน X แสดงค่าน้ำหนักในช่วง -1.00 ถึง 1.00 ซึ่งสะท้อนทิศทางและขนาดของความสัมพันธ์กับองค์ประกอบหลัก



ภาพ 3 น้ำหนักองค์ประกอบหลักของปรากฏการณ์ภูมิอากาศสุดขั้วกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน

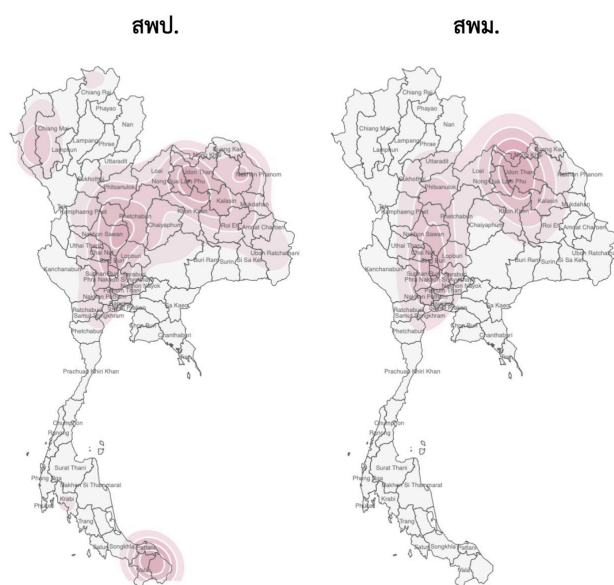
จากภาพ 3 พบว่า ในชุดข้อมูลฝนตกสุดขั้วและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (แผนภูมิชุดบน) องค์ประกอบหลักที่ 3 (PC3) มีรูปแบบความสัมพันธ์ที่โดดเด่น กล่าวคือ ระยะเวลาของปรากฏการณ์ฝนตกสุดขั้ว (Precipitation Duration) มีค่าน้ำหนักเป็นบวก ในขณะที่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีค่าน้ำหนักลบ และทั้งสองมีค่าสัมบูรณ์ของน้ำหนักมากกว่า 0.3 (Hair et al., 2019; Jolliffe & Cadima, 2016) สะท้อนความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างตัวแปรทั้งสองในองค์ประกอบนี้ แสดงให้เห็นว่า PC3 บ่งชี้ถึงความเสี่ยงทางการศึกษาที่มีความเชื่อมโยงกับระยะเวลาของปรากฏการณ์ฝนตกสุดขั้ว ในทางตรงกันข้าม ชุดข้อมูลอุณหภูมิสุดขั้วไม่พบองค์ประกอบที่สะท้อนความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่างตัวแปรทั้งสองกลุ่มอย่างชัดเจน ผลการวิเคราะห์นี้ชี้ว่า PC3 ที่ใช้ชุดข้อมูลฝนตกสุดขั้วและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นองค์ประกอบเดียวที่เชื่อมโยงสภาพภูมิอากาศกับผลกระทบทางการศึกษาในเชิงความเสี่ยงได้อย่างชัดเจน จึงถูกใช้เป็นฐานในการสร้างดัชนี CMER โดยนำคะแนน PC3 มาแปลงเป็นคะแนนมาตรฐานแบบ CDF ในช่วง 0-1 เพื่อให้การตีความและกำหนดเกณฑ์ทำได้อย่างเป็นปรนัย

ทั้งนี้แม้ว่า PC1 และ PC2 จะเป็นองค์ประกอบที่อธิบายความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศสุดขั้วได้มากกว่า PC3 แต่เมื่อพิจารณารูปแบบของน้ำหนักองค์ประกอบพบว่า น้ำหนักองค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีค่าใกล้ศูนย์ทั้งหมด ซึ่งสะท้อนว่าความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศสุดขั้วในองค์ประกอบทั้งสองนั้นเกิดขึ้นอย่างไม่มีสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ไม่สามารถใช้เป็นฐานของดัชนีความเสี่ยงทางการศึกษาได้

จากการเลือกองค์ประกอบหลัก PC3 เพื่อสร้างดัชนี CMER ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การแปลความหมายของค่าดัชนีให้เป็นปรนัยด้วยการวิเคราะห์ ROC โดยใช้คะแนน O-NET เป็นตัวแปรอ้างอิงในการคำนวณค่าความไวและ

ค่าความจำเพาะ เนื่องจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นตัวชี้วัดในมิติด้านความเปราะบางทางการศึกษาในกรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ การใช้ตัวแปรเดียวกันเป็นเกณฑ์อ้างอิงจึงสอดคล้องกับหลักการกำหนดจุดตัดเชิงเกณฑ์ (criterion-referenced cut-off) ผลการวิเคราะห์ทำให้สามารถจำแนกโรงเรียนเป็น 3 ระดับ ได้แก่ (1) ความเสี่ยงต่ำ ($CMER < 0.60$) (2) ความเสี่ยงปานกลาง ($0.60 \leq CMER \leq 0.80$) โดยจุดตัด 0.60 ให้ Sensitivity = .80, Specificity = .79 และ AUC = .88 และ (3) ความเสี่ยงสูง ($CMER > 0.80$) โดยจุดตัด 0.80 ให้ Sensitivity = 1.00, Specificity = .95 และ AUC = .98 เกณฑ์ดังกล่าวช่วยให้การประเมินและติดตามความเสี่ยงดำเนินได้อย่างเป็นระบบ และใช้ประกอบการจัดลำดับความสำคัญเชิงนโยบายเพื่อจัดสรรทรัพยากรลดผลกระทบทางการศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ตามเกณฑ์จุดตัดข้างต้น พบว่า โรงเรียนส่วนใหญ่ (68.24%, 17,954 แห่ง) อยู่ในกลุ่มความเสี่ยงต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนี .422 (SD = .135, ช่วง .010–.598) รองลงมาเป็นกลุ่มความเสี่ยงปานกลาง (28.81%, 7,580 แห่ง) มีค่าเฉลี่ย .683 (SD = .051) และกลุ่มความเสี่ยงสูง (2.95%, 777 แห่ง) มีค่าเฉลี่ย .843 (SD = .048) สะท้อนการกระจายของความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศอย่างชัดเจนระหว่างกลุ่ม



ภาพ 4 แผนที่เส้นชั้นความหนาแน่น (contour map) ของพื้นที่ที่มีดัชนี CMER อยู่ในระดับสูง

ภาพ 4 แสดงแผนที่เส้นชั้นความหนาแน่นของโรงเรียนที่มีความเสี่ยง CMER สูง ($CMER > 0.80$) ทั่วประเทศไทย จำแนกตามเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา (สพป.) และมัธยมศึกษา (สพม.) ผลการแสดงผลพบว่าโรงเรียนกลุ่มเสี่ยงสูงมีการกระจายตัวครอบคลุมหลายภูมิภาค โดยมีบริเวณที่หนาแน่นเด่นชัดในภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉยงเหนือ ภาคกลาง และบางส่วนของภาคเหนือ ขณะเดียวกัน ลักษณะการกระจายตัวแตกต่างกันตามระดับเขตพื้นที่การศึกษา โดยโรงเรียนในเขตพื้นที่ สพป. มีการกระจายตัวกว้างกว่าในหลายภูมิภาค ในขณะที่โรงเรียนในเขตพื้นที่ สพม. มีแนวโน้มกระจุกตัวมากกว่า โดยเฉพาะในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉยงเหนือ

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี CMER กับ ปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ ลักษณะของโรงเรียน และลักษณะของนักเรียน

การวิเคราะห์ในวัตถุประสงค์ที่ 2 มุ่งระบุปัจจัยทางการศึกษาที่ส่งผลต่อดัชนี CMER ในแต่ละภูมิภาค ผลการวิเคราะห์ พบว่า ในกลุ่มเขตพื้นที่ สพป. ปัจจัยที่เด่นตามเกณฑ์นี้มี 2 ปัจจัย คือ การเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก (small school) และ ความยากลำบากในการเข้าถึงโรงเรียน (hard to reach) โดยปัจจัย small school ถูกเลือกใน 181 เขต (98.90%) มีค่าเฉลี่ย .14 (SD = .12) ในจำนวนนี้พบว่ามีเขตพื้นที่จำนวน 30.4% ที่สัมพันธ์กับการถดถอยดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ส่วนปัจจัย Hard to Reach ถูกเลือกใน 33 เขตพื้นที่ (18.03%) แต่มีค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ .11 (SD = .08) โดยในจำนวนนี้มีเขตพื้นที่จำนวน 77.9% ที่พบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) สำหรับเขตพื้นที่ สพม. พบปัจจัยเด่น 3 ปัจจัย ได้แก่ Small School ซึ่งถูกเลือกในทุกเขตพื้นที่ (61 เขตพื้นที่) มีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ย .18 (SD = .10) ในจำนวนนี้มีเขตพื้นที่จำนวน 77.0% ที่สัมพันธ์กับการถดถอยมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) รองลงมาคือ Hard to Reach ซึ่งถูกเลือกใน 5 เขตพื้นที่ (ร้อยละ 8.20) มีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ย .13 (SD = .07) อย่างไรก็ตามในจำนวนนี้ไม่มีเขตพื้นที่ใดที่ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัย School Distance ซึ่งถูกเลือกใน 61 เขตพื้นที่ มีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ย .11 (SD = .12) และในจำนวนนี้มีเขตพื้นที่ร้อยละ 19.7 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

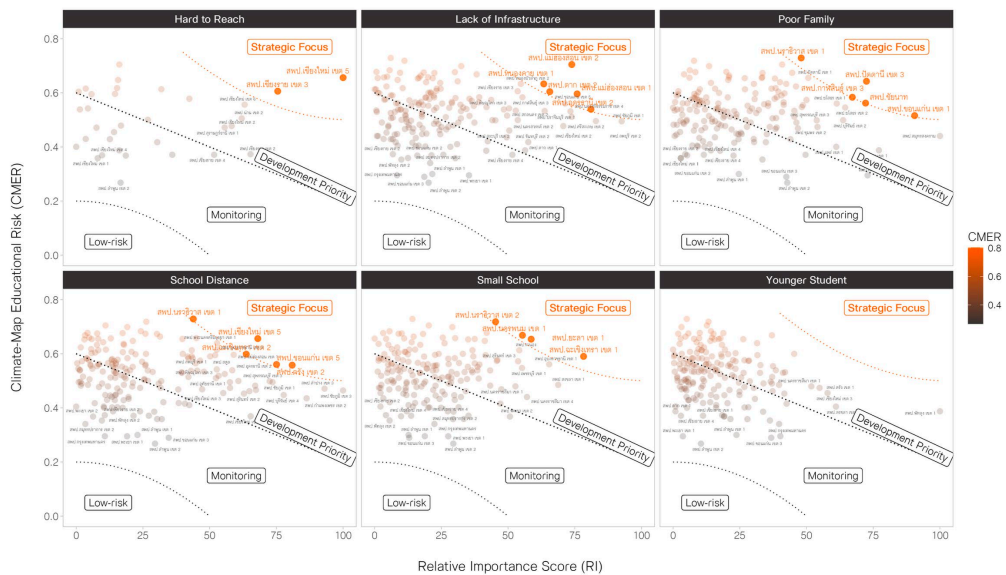
ภาพ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วย Risk-Importance Matrix (RIM) โดยบูรณาการคะแนนความเสี่ยง CMER กับค่าความสำคัญสัมพัทธ์ (Relative Importance: RI) ของปัจจัยทางการศึกษา เพื่อจำแนกเขตพื้นที่ตามระดับความเสี่ยงและบทบาทของปัจจัยขับเคลื่อนหลัก โดยภาพรวมสามารถจัดกลุ่มพื้นที่ออกเป็น 4 กลุ่มสำคัญ ได้แก่ (1) กลุ่มมุ่งเน้นเชิงกลยุทธ์ ซึ่งมีค่า CMER สูงร่วมกับค่า RI สูง แสดงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงทางการศึกษาเชื่อมโยงกับปัจจัยเชิงโครงสร้างอย่างเด่นชัด (2) กลุ่มเร่งพัฒนา ที่มีค่า CMER สูงแต่ค่า RI ยังไม่เด่นชัด สะท้อนพื้นที่ที่ควรพัฒนาและค้นหาปัจจัยเพิ่มเติม (3) กลุ่มเฝ้าระวัง ซึ่งมีค่า CMER ระดับปานกลางหรือค่า RI เริ่มสูงขึ้น แสดงถึงพื้นที่ที่ควรติดตามแนวโน้มความเสี่ยง และ (4) กลุ่มความเสี่ยงต่ำ ที่มีค่า CMER และ RI ต่ำ โดยในที่นี้นำเสนอผลแยกตามระดับเขตพื้นที่การศึกษา ได้แก่ สพป. และ สพม.

เมื่อพิจารณาในกลุ่มเขตพื้นที่ สพป. (ภาพ 5 ก.) พบว่าเขตพื้นที่ที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ (Strategic Focus) มีจำนวน 19 เขตพื้นที่ โดยมีค่า CMER อยู่ในช่วง 0.52–0.73 และมีค่า RI อยู่ในช่วง 43.88–100% ปัจจัยที่ปรากฏเด่นในกลุ่มนี้ได้แก่ ความยากจนของครัวเรือน ระยะทาง/การเข้าถึงโรงเรียน ความเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก และการขาดแคลนโครงสร้างพื้นฐาน สะท้อนความเปราะบางที่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัดด้านเศรษฐกิจ การเข้าถึงบริการทางการศึกษา และทรัพยากรของโรงเรียน

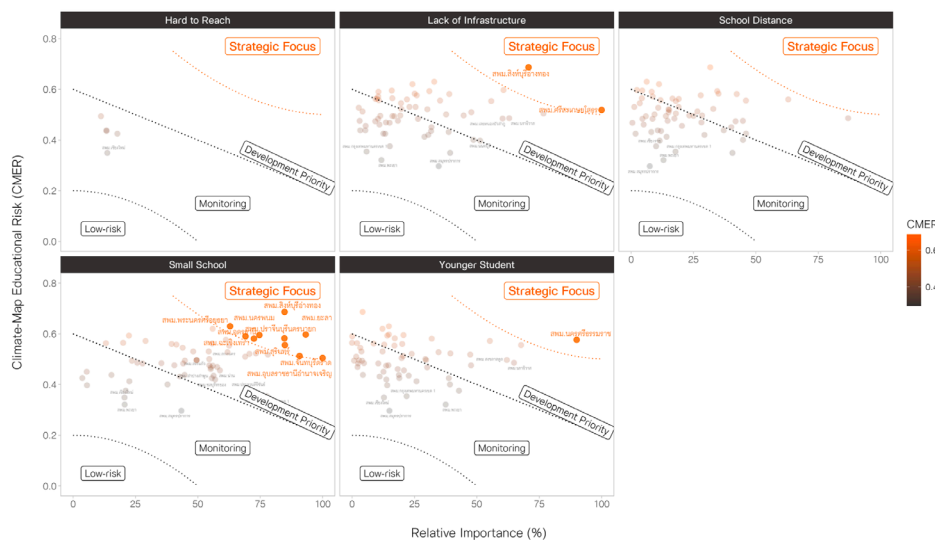
สำหรับเขตพื้นที่ สพม. (ภาพ 5 ข.) พบว่าเขตพื้นที่กลุ่มเป้าหมายเชิงกลยุทธ์มีจำนวน 12 เขตพื้นที่ โดยมีค่า CMER อยู่ในช่วง 0.50–0.69 และปัจจัยที่พบเด่นชัดในหลายเขตพื้นที่คือความเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก ขณะที่บางเขตพื้นที่ยังปรากฏปัจจัยด้านการขาดแคลนโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะของผู้เรียนเป็นปัจจัยเด่นร่วมกัน ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ว่าการจำแนกด้วย RIM ตามระดับการศึกษาช่วยเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่สำหรับการกำหนดเป้าหมายการสนับสนุนเชิงนโยบาย

ตาราง 2 สถิติพื้นฐานของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรายเขตพื้นที่ของปัจจัยทางการศึกษาที่ส่งผลต่อ CMER

Feature	N	M	SD	Q1	Med	Q3	Max	%Sig.
เขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา (PESA)								
Small School	181	.14	.12	.04	.12	.20	.49	30.4%
Hard to Reach	33	.11	.08	.06	.08	.19	.30	39.4%
School Distance	183	.09	.08	.04	.07	.13	.42	27.9%
Lack of Infrastructure	176	.06	.05	.02	.05	.08	.23	15.9%
Young Student	183	.04	.04	.01	.02	.05	.37	16.4%
Poor Family	176	.03	.03	.01	.02	.04	.31	14.2%
เขตพื้นที่ศึกษามัธยมศึกษา (SESA)								
Small School	61	.18	.10	.12	.18	.22	.61	77.0%
Hard to Reach	5	.13	.07	.09	.11	.11	.26	0.0%
School Distance	61	.11	.12	.04	.09	.12	.61	19.7%
Lack of Infrastructure	61	.07	.06	.03	.07	.10	.27	18.0%
Young Student	61	.06	.06	.02	.04	.08	.32	24.6%

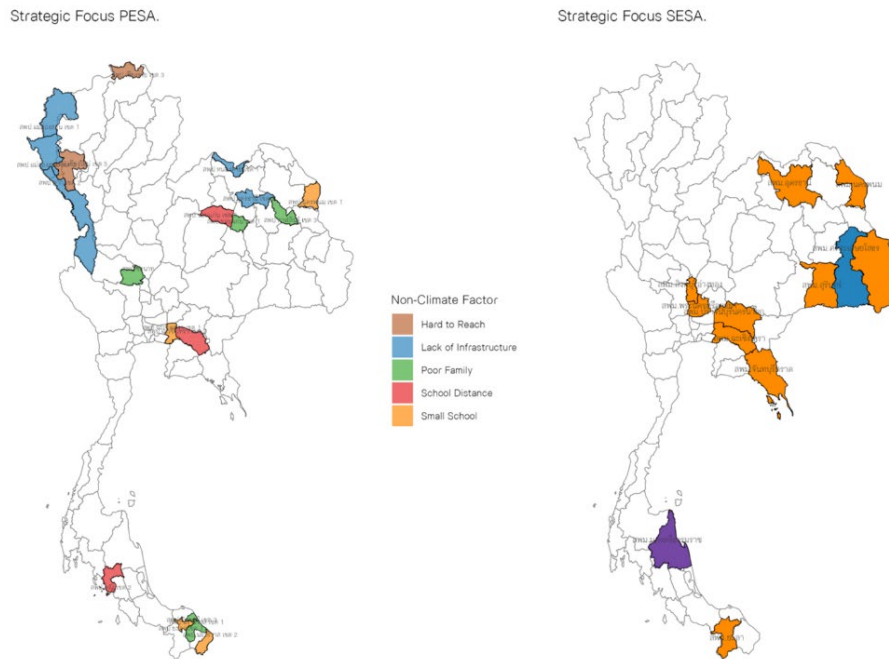


ก. เขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา



ข. เขตพื้นที่ศึกษามัธยมศึกษา

ภาพ 5 แสดงเมทริกซ์ความเสี่ยงและความสำคัญ (RIM) ของโรงเรียนระดับเขตพื้นที่การศึกษา



ภาพ 6 ปัจจัยทางการศึกษาที่มีความสำคัญมากที่สุดในแต่ละเขตพื้นที่การศึกษาในกลุ่มมุ่งเน้นเชิงกลยุทธ์

ภาพ 6 แสดงแผนที่การกระจายความเสี่ยงเชิงพื้นที่ของเขตพื้นที่การศึกษา สพป. และ สพม. ที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มมุ่งเน้นเชิงกลยุทธ์ พร้อมทั้งระบุปัจจัยทางการศึกษาที่เป็นปัจจัยเด่นของแต่ละเขตพื้นที่ กล่าวคือ ปัจจัยที่มีค่า RI สูงสุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นในเขตพื้นที่เดียวกัน จากรูปสีที่แตกต่างกันใช้แทนประเภทของปัจจัยเด่นที่เชื่อมโยงกับความเสี่ยง CMER ในแต่ละบริบทพื้นที่ เมื่อพิจารณาแผนที่การกระจายความเสี่ยงของเขตพื้นที่ สพป. พบว่ามีความหลากหลายของปัจจัยเด่น ได้แก่ ความยากลำบากในการเข้าถึงพื้นที่ การขาดแคลนโครงสร้างพื้นฐาน ความยากจนของครัวเรือน และความเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก บ่งชี้ว่าปัจจัยที่สัมพันธ์กับความเปราะบางของโรงเรียนประถมศึกษาเกิดจากข้อจำกัดที่มีความหลากหลายและแตกต่างกันไปตามบริบทของพื้นที่ ขณะที่ในระดับมัธยมศึกษา ปัจจัยเด่นในเขตพื้นที่ส่วนใหญ่คือ ความเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก ซึ่งกระจุกตัวในหลายพื้นที่ แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงทางการศึกษาในระดับมัศึกษามีความเชื่อมโยงกับข้อจำกัดเชิงโครงสร้างของโรงเรียนอย่างเด่นชัด

ผลการวิเคราะห์จากภาพ 5 และ 6 ยังบ่งชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า แม้หลายเขตพื้นที่จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ต้องให้ความสำคัญเชิงนโยบายเหมือนกัน แต่ปัจจัยเด่นทางการศึกษาที่มีเชื่อมโยงกับความเสี่ยง CMER และควรได้รับการจัดการกลับมีความแตกต่างกันไปตามบริบทพื้นที่ ดังนั้น ผลลัพธ์ดังกล่าวจึงควรถูกนำไปใช้ประกอบการออกแบบมาตรการสนับสนุนเชิงพื้นที่ที่มีความจำเพาะ มุ่งแก้ปัญหาได้ตรงจุด และสอดคล้องกับความเปราะบางของแต่ละเขตพื้นที่มากขึ้น

อภิปรายผลการวิจัย

1. จากผลการสร้างดัชนี CMER ในงานวิจัยนี้พบว่า ดัชนี CMER สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของปรากฏการณ์ฝนตกสุดชั้วกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน โดยไม่พบความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างจากตัวชี้วัดของสภาพภูมิอากาศสุดชั้วในด้านอื่น ผลการวิจัยนี้สนับสนุนสมมุติฐานว่าที่ผ่านมา

ผลกระทบของภูมิอากาศต่อการศึกษาของประเทศไทยมีแนวโน้มเป็นไปแบบสะสมต่อเนื่องมากกว่าผลกระทบแบบฉับพลันรุนแรง โดยผลกระทบแบบสะสมนี้เป็นปัจจัยที่ลดทอนเวลาเรียนและโมเมนตัมการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างค่อยเป็นค่อยไป หลักการเดียวกันนี้ปรากฏในงานวิจัยด้านเศรษฐศาสตร์การศึกษา (Gottfried, 2014; Liu et al., 2021) ที่พบว่าการขาดเรียนของนักเรียนแบบกระจายส่งผลเสียต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมากกว่าการขาดเรียนแบบกระจุกในจำนวนวันที่เท่ากัน เพราะทำให้ขาดความต่อเนื่องและเพิ่มภาระในการติดตามเนื้อหา ซึ่งสภาพปรากฏการณ์ที่ฝนตกหนักยึดเยื้อในบางพื้นที่ของประเทศไทยก็มีแนวโน้มสร้างเงื่อนไขการขาดเรียนในลักษณะเดียวกัน

นอกจากนี้การไม่พบความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่างอุณหภูมิสุดขีดกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แม้จะมีหลักฐานจากงานวิจัยในประเทศว่าความร้อนส่งผลต่อสมรรถนะทางปัญญา (Park et al., 2020; Zivin et al., 2014) สะท้อนถึงความเฉพาะผลกระทบที่มีต่อผลลัพธ์ กล่าวคือ งานวิจัยที่พบผลของอุณหภูมิส่วนใหญ่ใช้ตัวชี้วัดด้านสมรรถนะทางปัญญาในขณะนั้น เช่น คะแนนสอบในวันที่อากาศร้อน แต่คะแนน O-NET เป็นผลลัพธ์เชิงสะสมที่สะท้อนการเรียนรู้ตลอดช่วงชั้นของการศึกษา ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีความคุ้นเคยกับสภาพอากาศร้อนอยู่แล้ว นอกจากนี้ปัญหาสภาพอากาศร้อนสามารถแก้ไขหรือปรับตัวได้ง่ายกว่า เช่น การเลื่อนเวลาเรียน การใช้พัดลมหรือเครื่องปรับอากาศ หรือการเรียนชดเชยในช่วงที่อากาศเย็นลงในทางกลับกันสภาพฝนตกสุดขั้วอย่างยึดเยื้อสร้างผลกระทบที่ชดเชยได้ยากกว่า

2. ดัชนีความเสี่ยงด้านภูมิอากาศที่ใช้กันในระดับสากล เช่น Children's Climate Risk Index (CCRI) ของ UNICEF (2021) และ WorldRiskIndex (Bündnis Entwicklung Hilft, 2024) มีข้อจำกัดสำคัญ 2 ประการ สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านการศึกษา ประการแรก ดัชนีดังกล่าววัดการเผชิญภัย (exposure) และความเปราะบาง (vulnerability) ในระดับประเทศหรือจังหวัด ซึ่งขาดรายละเอียดเชิงพื้นที่สำหรับการตัดสินใจระดับโรงเรียนหรือเขตพื้นที่การศึกษา ประการที่สอง ไม่ได้ผนวกรวมตัวชี้วัดด้านผลลัพธ์ทางการศึกษาเข้าไปในกรอบแนวคิดของดัชนี ทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าความเสี่ยงที่พบในดัชนีดังกล่าวจะสะท้อนเป็นความเสี่ยงทางการศึกษาได้จริง หรืออย่างน้อยเพียงใด

ดัชนี CMER ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางที่แตกต่าง โดยใช้การสร้างดัชนีที่ใช้ข้อมูลเป็นฐาน (data-driven approach) ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักแทนการกำหนดน้ำหนักหรือโครงสร้างทางทฤษฎีเอาไว้ล่วงหน้า วิธีการนี้มีข้อดีคือช่วยให้ค้นพบรูปแบบความสัมพันธ์ที่ไม่ถูกอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเดิม ดังที่พบว่า ความยาวนานของฝนตกสุดขั้วมีความสำคัญมากกว่าความรุนแรงของฝนตกสุดขั้ว ซึ่งขัดกับสัญชาตญาณทั่วไปที่มักให้ความสำคัญกับความรุนแรงของภัยพิบัติ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของวิธีการนี้คือผลลัพธ์ที่ได้อาจมีความจำเพาะต่อบริบทและต้องระมัดระวังหากจะนำไปใช้หรือขยายผลต่อในบริบทอื่น

3. ผลการวิจัยพบว่าความเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ CMER อย่างมีนัยสำคัญในหลายเขตพื้นที่ ทั้งใน สพป. และ สพม. ข้อค้นพบนี้สามารถอธิบายได้ผ่านกรอบแนวคิดความสามารถในการฟื้นตัวขององค์กร (Sutcliffe & Vogus, 2003; Duchek, 2020) ที่ระบุว่าความสามารถในการรับมือและฟื้นตัวจากวิกฤตขององค์กรขึ้นอยู่กับทรัพยากรสำรอง ความหลากหลายของบุคลากร และความยืดหยุ่นในการปรับโครงสร้าง ซึ่งโรงเรียนที่มีขนาดเล็ก (รวมทั้งขนาดปานกลาง) ของประเทศไทยมีแนวโน้มพบข้อจำกัดในทุกมิติดังกล่าว กล่าวคือมีงบประมาณ ทรัพยากร และบุคลากรที่จำกัด ขาดครูสำรอง

เมื่อครูไม่สามารถเดินทางมาสอนได้ และมีความยืดหยุ่นต่ำในการปรับตารางเรียนหรือรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ดังนั้นเมื่อพบกับปัญหาทางสภาพภูมิอากาศ โรงเรียนขนาดเล็กจึงมีแนวโน้มที่ได้รับผลกระทบรุนแรงกว่า และฟื้นตัวช้ากว่า ทั้งนี้ขนาดโรงเรียนไม่ใช่ปัจจัยเสี่ยงในตัวเอง แต่ทำหน้าที่เป็นตัวขยายความเปราะบางที่ขยายขนาดความเสี่ยง CMER ในรุนแรงยิ่งขึ้น

ข้อค้นพบนี้มีความสำคัญเชิงนโยบาย กล่าวคือ การลดความเสี่ยงทางการศึกษาจากสภาพภูมิอากาศ ไม่จำเป็นต้องมุ่งเน้นการลดการเผชิญภัยโดยตรง แต่สามารถดำเนินการผ่านการเสริมสร้างความสามารถในการปรับตัว (adaptive capacity) ของโรงเรียนที่เปราะบาง เช่น การสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างโรงเรียน การพัฒนาระบบการเรียนรู้ทางไกลสำรองที่มีคุณภาพและเท่าเทียม หรือการจัดสรรทรัพยากรแบบยืดหยุ่นที่สามารถนำมาใช้ได้ภาวะฉุกเฉิน

4. งานวิจัยนี้เสนอเมทริกซ์ความเสี่ยง-ความสำคัญ (RIM) เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจที่ผสมผสานข้อมูล 2 มิติ ได้แก่ ระดับความเสี่ยง (มัธยฐานของ CMER) และความสำคัญเชิงสัมพัทธ์ของปัจจัยทางการศึกษา แนวคิดนี้ประยุกต์จาก Importance-Performance Analysis (Martilla & James, 1977) และ Risk-Impact Matrix (International Organization for Standardization [ISO], 2018) แต่ปรับให้เหมาะกับบริบทการจัดการความเสี่ยงทางการศึกษา คุณค่าของ RIM คือช่วยสนับสนุนผู้กำหนดนโยบาย หลีกเลี่ยงการตัดสินใจแบบ one-size-fit-all ที่ผิดพลาด กล่าวคือแม้หลายพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แต่ปัจจัยทางการศึกษาที่ขยายความเสี่ยงดังกล่าวมีความแตกต่างกัน ดังที่เห็นจากผลการวิจัยว่าในกลุ่มเขตพื้นที่ทางการศึกษาที่ต้องให้ความสำคัญเชิงกลยุทธ์ บางพื้นที่มีปัจจัยด้านความยากจนเป็นปัจจัยเด่น บางพื้นที่เป็นความห่างไกล และบางพื้นที่เป็นโครงสร้างพื้นฐาน ดังนั้นการใช้มาตรการเดียวกันทุกพื้นที่จึงไม่เพียงไม่มีประสิทธิภาพ แต่อาจสิ้นเปลืองทรัพยากรโดยไม่จำเป็น

ข้อเสนอแนะ

1. ดัชนี CMER ที่พัฒนาขึ้นสามารถบ่งชี้โรงเรียนหรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศได้แม่นยำกว่าวิธีเดิมที่อิงเพียงข้อมูลน้ำท่วมหรือปริมาณฝน เนื่องจากผสมผสานข้อมูลภูมิอากาศเข้ากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและบริบทของโรงเรียนโดยตรง หน่วยงานระดับนโยบาย เช่น สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) หรือองค์กรระหว่างประเทศที่ทำงานด้านการศึกษาและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สามารถนำดัชนี CMER ร่วมกับเมทริกซ์ความเสี่ยง-ความสำคัญ (RIM) ไปใช้ประโยชน์ใน 2 ระดับ ดังนี้ (1) **ระดับเขตพื้นที่การศึกษา** ใช้ RIM จำแนกเขตพื้นที่ตามระดับความเสี่ยงเชิงโครงสร้าง (จากค่า CMER) และความสำคัญเชิงสัมพัทธ์ของปัจจัยทางการศึกษา (จากค่า RI) เพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนและระบุปัจจัยหลักที่ขับเคลื่อนความเสี่ยงในแต่ละพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นโรงเรียนขนาดเล็ก ความยากจน โครงสร้างพื้นฐาน หรือความห่างไกล RIM จึงทำหน้าที่เป็นกลไกชี้เป้าเชิงพื้นที่ที่ช่วยกำหนดทิศทางนโยบายให้สอดคล้องกับปัญหาของแต่ละพื้นที่อย่างเฉพาะเจาะจง และ (2) **ระดับโรงเรียนภายในเขตพื้นที่** หลังจากระบุเขตพื้นที่เป้าหมายแล้ว ให้จัดลำดับโรงเรียนด้วยค่า CMER ระดับโรงเรียน และจำแนกเป็นกลุ่มตามระดับความเสี่ยง (เช่น กลุ่มปานกลาง 0.60–0.79 และกลุ่มสูง ≥ 0.80) เพื่อกำหนดระดับการสนับสนุนที่แตกต่างกัน โดยออกแบบมาตรการให้สอดคล้องกับปัจจัยเสี่ยงเฉพาะของเขตพื้นที่นั้น ๆ ตามที่ RIM ระบุ

2. จากผลการวิจัยที่พบว่าลักษณะของปัจจัยทางการศึกษาที่มีผลต่อความเสี่ยง CMER มีความแตกต่างกันในแต่ละเขตพื้นที่ การออกแบบแนวทางหรือมาตรฐานสนับสนุนจึงควรยึดหลักความจำเพาะของบริบท โดยจำแนกเป็น 2 แนวทางได้แก่ (1) **พื้นที่ที่มีปัจจัยเสี่ยงเด่นเพียงปัจจัยเดียว** ควรใช้มาตรการมุ่งเป้า เพื่อแก้ไขปัญหาอย่างตรงจุด เช่น กรณีที่ความเป็นโรงเรียนขนาดเล็กเป็นปัจจัยเด่น ควรเน้นการจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็นทั้งด้านงบประมาณ เทคโนโลยีดิจิทัล และบุคลากร ควบคู่กับการสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับโรงเรียนแม่ข่ายขนาดใหญ่เพื่อแบ่งปันทรัพยากรและพัฒนาวิชาชีพครู (2) **พื้นที่ซึ่งเผชิญกับความเสี่ยงซับซ้อนจากหลายปัจจัยร่วมกัน** จำเป็นต้องวิเคราะห์เพื่อระบุปัจจัยขับเคลื่อนหลักและปัจจัยเสริมก่อนออกแบบแนวทางหรือมาตรฐาน เช่น ในพื้นที่ที่ความยากจนเป็นปัจจัยขับเคลื่อนหลัก (ดังกรณี สปป. นราธิวาส เขต 1) มาตรการหลักควรมุ่งเน้นการสนับสนุนทางเศรษฐกิจแก่นักเรียนและครอบครัวเป็นลำดับแรก โดยมีมาตรการด้านโครงสร้างพื้นฐานเป็นส่วนเสริม ในทางกลับกัน พื้นที่ที่ความห่างไกลเป็นปัจจัยหลัก (ดังกรณี สปป. เชียงใหม่ เขต 5) ควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบคมนาคมเป็นลำดับแรก

3. การวิจัยในอนาคตควรขยายขอบเขตของตัวชี้วัดในด้านผลลัพธ์ทางการศึกษาให้ครอบคลุมมากกว่าคะแนน O-NET เช่น อัตราการขาดเรียน อัตราการออกกลางคัน และสุขภาพทางกายและทางจิตของนักเรียน การขยายตัวชี้วัดในลักษณะนี้จะช่วยให้เข้าใจกลไกเชิงลึกกว่าฝนตกยึดเหี่ยวส่งผลต่อการเรียนรู้ผ่านช่องทางใดบ้าง อันจะนำไปสู่การออกแบบมาตรการป้องกันและเยียวยาที่ตรงจุดยิ่งขึ้น นอกจากนี้การวิจัยในอนาคตควรพิจารณาออกแบบการศึกษาในเชิงตามยาว (longitudinal study) โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนี CMER และปัจจัยทางการศึกษาในแต่ละเขตพื้นที่ข้ามช่วงเวลา เพื่อตรวจจับว่าความเสี่ยงทางการศึกษาที่เชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มสะสมหรือรุนแรงขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในระยะยาวหรือไม่ และมาตรการที่ดำเนินการในพื้นที่เป้าหมายสามารถลดค่าดัชนีได้จริงในเชิงประจักษ์หรือไม่ ซึ่งจะช่วยให้ CMER เปลี่ยนจากเครื่องมือวินิจฉัยเป็นเครื่องมือติดตามผลเชิงนโยบายได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณองค์การยูนิเซฟ (UNICEF) ประเทศไทย ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและพลังงานหมุนเวียนระดับภูมิภาค มหาวิทยาลัยรามคำแหง (Ramkhamhaeng University Center of Regional Climate Change and Renewable Energy: RU-CORE) ที่อนุเคราะห์ชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศซึ่งมีความสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาดัชนี CMER และการวิเคราะห์ความเสี่ยงทางการศึกษาภายใต้บริบทการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในงานวิจัยฉบับนี้

References

- Adler, C., Wester, P., Bhatt, I., Huggel, C., Insarov, G. E., Morecroft, M. D., Muccione, V., & Prakash, A. (2022). *Cross-Chapter Paper 5: Mountains*. In H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp.2273-2318). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.022>

- Auer-Frege, I., Befus, E., Bih, K. B., Fawwad, M., Ide, T., Kiefer, M., Kienzl, P., Klüppel, D., Korte, L., Kortendieck, M., Moloinyane, S., Peters, K., Radtke, K., Schneider, S., & Weller, D. (2024). *WorldRiskReport 2024: Focus on education and vulnerability to climate risks*. Bündnis Entwicklung Hilft & Institute for International Law of Peace and Armed Conflict. <https://weltrisikobericht.de/worldriskreport/>
- Auer-Frege, I., Bliecke, V., Bradshaw, S., Dijkzeul, D., Funke, C., Kienzl, P., Küsters, K., Masuch, L., Nasreen, M., Radtke, K., Schneider, S., Thielbörger, P., Weller, D., Wiegers, O., Yaman, D. K., & Zennig, K. (2023). *WorldRiskReport 2023: Focus on diversity*. Bündnis Entwicklung Hilft & Institute for International Law of Peace and Armed Conflict. <https://weltrisikobericht.de/worldriskreport/>
- Bündnis Entwicklung Hilft & Ruhr-Universität Bochum, Institut für Internationales Friedens- und Konfliktrecht (IFHV). (2024). *WorldRiskReport 2024: Multiple crises*. https://seuresustain.org/wp-content/uploads/2024/10/WorldRiskReport_2024.pdf
- Duchek, S. (2020). Organizational resilience: A capability-based conceptualization. *Business Research*, 13(1), 215–246. <https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7>
- Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). *Global climate risk index 2021: Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2019 and 2000-2019*. Germanwatch. <https://germanwatch.org/en/cr>
- Google. (2024). Google Maps Platform documentation. <https://developers.google.com/maps>
- Gottfried, M. A. (2014). Chronic absenteeism and its effects on students' academic and socioemotional outcomes. *Journal of Education for Students Placed at Risk*, 19(1–2), 53–75. <https://doi.org/10.1080/10824669.2014.962696>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2021). *Multivariate data analysis* (9th ed.). Cengage.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management—Guidelines*. Author.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Summary for policymakers*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), Article 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Landell, H. (2016). *The risk matrix as a tool for risk analysis: How to apply existing theories in practice in order to overcome its limitations* [Master's thesis, University of Gävle]. DiVA Portal. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944825/FULLTEXT01.pdf>

- Liu, J., Lee, M., & Gershenson, S. (2021). The short- and long-run impacts of secondary school absences. *Journal of Public Economics*, 199, Article 104441. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2021.104441>
- Martilla, J. A., & James, J. C. (1977). Importance-Performance Analysis. *Journal of Marketing*, 41(1), 77–79. <https://doi.org/10.2307/1250495>
- Ngo-Duc, T., Tangang, F. T., Santisirisomboon, J., Cruz, F., Trinh-Tuan, L., Nguyen-Xuan, T., & Aldrian, E. (2016). Performance evaluation of RegCM4 in simulating extreme rainfall and temperature indices over the CORDEX-Southeast Asia region. *International Journal of Climatology*, 37(3), 163-182. <https://doi.org/10.1002/joc.4803>
- Park, J., Goodman, J., Hurwitz, M., & Smith, J. (2020). Heat and learning. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(2), 306-339. <https://doi.org/10.1257/pol.20180612>
- Rivadeneira Moreira, J. C. (2025). Risk management in education: A systematic literature review of the last five years. *Revista de Gestión Social y Ambiental*, 19(1), e010977. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-127>
- Sutcliffe, K. M., & Vogus, T. J. (2003). *Organizing for resilience*. In K. S. Cameron, J. E. Dutton, & R. E. Quinn (Eds.), *Positive organizational scholarship: Foundations of a new discipline* (pp. 94–110). Berrett-Koehler Publishers.
- Thampanishvong, K., Santisirisomboon, J., Sumano, B., Channuntapipat, C., Ngaosri, K., Witoonchart, P., Kaewbuadee, N., & Pinkaew, L. (2022). *Impact assessment of climate change and environmental degradation on children in Thailand*. Thailand Development Research Institute. <https://www.unicef.org/thailand/media/10361/file/Climate%20Change%20Impact%20Assessment%20-%20Full%20report.pdf>
- Unal, I. (2017). Defining an optimal cut-point value in ROC analysis: An alternative approach. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2017, Article 3762651. <https://doi.org/10.1155/2017/3762651>
- UNICEF. (2021). *The climate crisis is a child-rights crisis: Introducing the Children's Climate Risk Index*. <https://www.unicef.org/reports/climate-crisis-child-rights-crisis>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. UNDRR.
- Zivin, J. G., & Neidell, M. (2014). Temperature and the allocation of time: Implications for climate change. *Journal of Labor Economics*, 32(1), 1-26. <https://doi.org/10.1086/671766>

Translate Thai Reference

- Srisuttiyakorn, S. (2019). Educational inequality and its factors: Multilevel analysis integrated with median-based class of generalized entropy inequality index. *Journal of Research Methodology*, 32(3), 342–379. (in Thai)