

การประยุกต์ใช้คริกกิงแบบถดถอยสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5
ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

(Application of Regression Kriging for Spatial Interpolation of PM2.5 Concentrations
in Upper Northern Thailand)

จัดทำโดย

นางสาวสุธาธิณี ชัยสุวรรณ

รหัสนักศึกษา 640510598

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.สมภาพ มูลชัย

เอกสารฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการค้นคว้าอิสระ (206499)

ภาคการเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การประยุกต์ใช้คริกกิงแบบถดถอยสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5
ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

(Application of Regression Kriging for Spatial Interpolation of PM2.5 Concentrations
in Upper Northern Thailand)

จัดทำโดย

นางสาวสุธาธิณี ชัยสุวรรณ

รหัสนักศึกษา 640510598

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.สมภพ มุลชัย

เอกสารฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการค้นคว้าอิสระ (206499)

ภาคการเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567

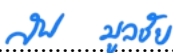
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การประยุกต์ใช้คริกกิงแบบถดถอยสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5
ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

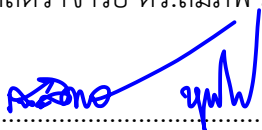
(Application of Regression Kriging for Spatial Interpolation of PM2.5 Concentrations
in Upper Northern Thailand)

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาคณิตศาสตร์

คณะกรรมการควบคุมการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมภาพ มูลชัย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล บุญปก)

วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2567

กิตติกรรมประกาศ

งานค้นคว้าอิสระฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในกระบวนวิชาการค้นคว้าอิสระ (206499) ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ให้นักศึกษาได้ศึกษาค้นคว้าประยุกต์ใช้ทฤษฎีและแนวคิดทางคณิตศาสตร์ในการทำการค้นคว้าอิสระของตนเอง ซึ่งข้าพเจ้าได้ศึกษาในเรื่อง การประยุกต์ใช้คริกิงแบบถดถอยสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมภพ มูลชัย ประธานกรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ที่ให้ความอนุเคราะห์ และเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการทำงานค้นคว้าอิสระ การนำเสนอและรูปเล่มรายงาน ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของเอกสารฉบับนี้ จนการศึกษาค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล บุญปก อาจารย์กรรมการสอบงานค้นคว้าอิสระ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้ข้อเสนอแนะ พิจารณาและตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงแก้ไขงานค้นคว้าอิสระฉบับนี้ให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

ทั้งนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา คณาจารย์และบุคลากร ภาควิชาคณิตศาสตร์ เพื่อน พี่ น้องทุกคน ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้กำลังใจ คำแนะนำ ความรู้ และความช่วยเหลือทุกด้าน ที่เป็นผลให้งานค้นคว้าอิสระนี้ออกมาเป็นไปตามรูปแบบและสำเร็จลุล่วงทุกประการ

นางสาว สุธานินี ชัยสุวรรณ

หัวข้อ (ภาษาไทย) การประยุกต์ใช้คริกกิงแบบถดถอยสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้นPM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

(ภาษาอังกฤษ) Application of Regression Kriging for Spatial Interpolation of PM2.5 Concentrations in Upper Northern Thailand

ชื่อผู้ทำการค้นคว้าอิสระ นางสาวสุธาธินี ชัยสุวรรณ รหัสนักศึกษา 640510598

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมภพ มูลชัย

ชื่อกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล บุญปก

บทคัดย่อ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลรายวันของตัวแปร ได้แก่ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และจำนวนจุดความร้อนกับความเข้มข้นของ PM2.5 ของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เดือนเมษายน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2564 - 2566 โดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันและสหสัมพันธ์เชิงอันดับของสเปียร์แมน นอกจากนี้ยังศึกษาการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ณ ตำแหน่งที่ไม่ทราบค่าในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยใช้คริกกิงแบบถดถอย จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้น PM2.5 มีความสัมพันธ์สูงกับจำนวนจุดความร้อนโดยเฉพาะเดือนมีนาคมและเมษายนของปี พ.ศ.2564 - 2566 แต่มีความสัมพันธ์น้อยกับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และเมื่อนำข้อมูลจำนวนจุดความร้อนในเดือนมีนาคมและเมษายนของทั้ง 3 ปีประมาณค่าเชิงพื้นที่ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 14% - 33% โดยผลการศึกษาบ่งชี้ถึงระดับความแม่นยำในระดับที่ปานกลาง

Abstract

This independent study analyzes the correlation between auxiliary variables, such as relative humidity and the number of fire hotspots, and PM2.5 concentrations in upper northern Thailand from February to April 2021 to 2023 using Pearson Correlation and Spearman Rank Correlation. Additionally, it aims to estimate PM2.5 concentration values at unobserved locations using Regression Kriging. The study found that PM2.5 concentration is highly related to the number of hotspots in March and April for 2021 to 2023 but is less related to relative humidity. When applying regression kriging to estimate PM2.5 concentrations using fire hotspots as an auxiliary variable, the mean absolute percentage error (MAPE) ranges from 14% - 33%. This outcome indicates a moderate level of predictive accuracy.

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน (Preliminaries)	3
บทที่ 3 ผลการศึกษา (Main result)	14
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษา (Conclusion)	26
บรรณานุกรม	27
ภาคผนวก	28

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1. บทนำ

1.1. ที่มา

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยยังประสบปัญหาเกี่ยวกับฝุ่น PM2.5 ซึ่ง PM2.5 เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และถือเป็นปัญหาสำคัญในหลายประเทศ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานฟอสซิลสูง การเผาไหม้เชื้อเพลิงทางการเกษตร หรือกิจกรรมอุตสาหกรรมหนาแน่น อย่างไรก็ตาม การติดตามและประเมินคุณภาพอากาศในเชิงพื้นที่เผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะในเรื่องจำนวนและการกระจายตัวของสถานีวัดค่าความเข้มข้น PM2.5 ที่ไม่เพียงพอ ที่เป็นผลมาจากการติดตั้งสถานีวัดคุณภาพอากาศจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรทั้งทางการเงินและบุคลากรเป็นจำนวนมาก สถานีวัดความเข้มข้น PM2.5 แต่ละแห่งต้องการอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง การบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง และการจัดการข้อมูลที่มีความซับซ้อน ส่งผลให้หลายประเทศหรือพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่ชนบทหรือห่างไกล ไม่สามารถติดตั้งสถานีวัดได้เพียงพอ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความครอบคลุมเฉพาะในพื้นที่ที่มีสถานีเท่านั้น

จากข้อจำกัดที่ทำให้มีสถานีวัดค่าความเข้มข้นไม่เพียงพอ เป็นผลให้ไม่มีข้อมูลความเข้มข้น PM2.5 ที่เพียงพอ อาจทำให้การตัดสินใจเชิงนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมผิดพลาด หรือไม่สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ได้ทันเวลา การขาดข้อมูลในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นหรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อมลพิษ อาจส่งผลให้ประชาชนในพื้นที่เหล่านั้นไม่ได้รับการแจ้งเตือนหรือคำแนะนำในการป้องกันตนเองจากมลพิษทางอากาศ ทั้งนี้ การขาดข้อมูลอาจทำให้การวางแผนพัฒนาหรือการจัดการสิ่งแวดล้อมไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริง

จากปัญหาที่ได้กล่าวมา ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน น่าน แพร่ และพะเยา มีสถานีวัดค่าความเข้มข้น PM2.5 เพียง 16 จุดทำให้ในบางพื้นที่ไม่สามารถทราบค่าความเข้มข้น PM2.5 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้สนใจในการประยุกต์ใช้คริกกิงแบบถดถอย มาประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ที่ไม่ทราบค่าของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน เพื่อเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อในด้านการวางแผนปัญหาฝุ่น PM2.5 และเป็นประโยชน์ต่อการวางแผน ปฏิบัติการในการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ โดยในที่นี่ใช้ข้อมูลความเข้มข้นของ PM2.5 และตัวแปรที่มีผลต่อความเข้มข้นของ PM2.5 ซึ่งข้อมูลในการศึกษานี้เป็นแบบรายวันในเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน ของปีพ.ศ. 2564 - 2566

1.2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของตัวแปร เช่น ความชื้นสัมพัทธ์หรือจำนวนจุดความร้อนกับความเข้มข้นของ PM2.5 ของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในรอบ 3 ปี
2. ประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในรอบ 3 ปี โดยใช้คริกกิงแบบถดถอย

1.3. ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลความเข้มข้นของ PM2.5 และตัวแปรที่มีผลต่อความเข้มข้นของ PM2.5 เป็นข้อมูลรายวันในเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน ของปี 2564-2566 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลจุดความร้อนจากภาพถ่ายดาวเทียมของกรมป่าไม้ในพื้นที่ 8 จังหวัดของภาคเหนือตอนบน ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน น่าน แพร่ และพะเยา

1.4. วิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของตัวแปร เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ หรือจำนวนจุดความร้อนกับความเข้มข้นของ PM2.5
2. สร้างแบบจำลองระหว่างตัวแปรที่ได้จากข้อ 1. และความเข้มข้นของ PM2.5
3. หาค่าประมาณในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในรอบ 3 ปี ได้แก่ปี 2564 - 2566 โดยใช้คริกกิงแบบถดถอยร่วมกับแบบจำลองที่ได้จากข้อ 2.
4. ตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่ประมาณได้เทียบกับข้อมูลทดสอบ

1.5. ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้ตัวตัวแปรที่มีผลต่อความเข้มข้นของ PM2.5 ของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในรอบ 3 ปี
2. ได้ค่าประมาณในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในรอบ 3 ปี

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน (Preliminaries)

2. ความรู้พื้นฐาน

2.1. ที่มาของคริกกิง

คริกกิง (Kriging) เป็นวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ โดยมีเทคนิคการประมาณค่าที่มีตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงเชิงเส้นที่ดีที่สุด (The best linear unbiased estimator : BLUE) สำหรับจุดที่ไม่ทราบค่า ซึ่งคิดโดยนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสที่ชื่อว่า จอร์จ มาเธอรอน (Georges Matheron) ในปี 1963 ซึ่งได้แนวคิดจากวิทยานิพนธ์ของแดนี จี คริก (Danie G krige)

จุดประสงค์ของวิธีคริกกิง คือ การประมาณค่าของฟังก์ชันตัวแปรสุ่ม $z(s)$ โดยที่ $s \in D \subset \mathbb{R}^d$ และ \mathbb{R}^d เป็นพื้นที่มิติขนาด d ณ ตำแหน่งที่สนใจทราบค่าใดๆ s_0 นั่นคือ ประมาณค่า $z(s_0)$ จากข้อมูลที่ทราบค่าจริงหรือตัวแปรสุ่ม $z(s_i)$ ณ ตำแหน่งข้อมูล s_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$ โดยมีสมการเป็นดังนี้

$$\tilde{z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i)$$

เมื่อ $\tilde{z}(s_0)$ เป็นค่าประมาณของ $z(s_0)$ และ λ_i เป็นค่าน้ำหนักของข้อมูลที่ทราบค่า $z(s_i)$

แนวคิดหลักของคริกกิง คือ จุดที่ทราบค่าที่มีระยะใกล้เคียงกับจุดที่จะประมาณค่าจะมีอิทธิพลต่อการประมาณที่มากกว่าจุดที่มีระยะไกลกว่า

2.2. ความนิ่ง (Stationary)

บทนิยาม 2.2.1 ความนิ่งจากภายใน (Intrinsic Stationary) [3]

ฟังก์ชันตัวแปรสุ่ม $Z(s)$ เป็นความนิ่งจากภายใน หากสอดคล้องกับเงื่อนไขต่อไปนี้

(i) ค่าคาดหวังของผลต่างของตัวแปรสุ่มสองจุด $Z(s+h) - Z(s)$ เท่ากับ 0 นั่นคือ

$$\mathbb{E}[Z(s+h) - Z(s)] = 0 \quad \text{โดยที่ } s+h, s \in D$$

ซึ่งสอดคล้องกับค่าคาดหวังของฟังก์ชันตัวแปรสุ่มเป็นค่าคงตัว

$$\mathbb{E}[Z(s)] = \mu \quad \text{โดยที่ } \mu \in \mathbb{R} \text{ สำหรับทุก } s \in D$$

(ii) ความแปรปรวนมีค่าจำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับ h แต่ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งใน D นั่นคือ

$$\text{Var}[Z(s+h) - Z(s)] < \infty \text{ สำหรับทุก } s+h, s \in D$$

บทนิยาม 2.2.2 ความนิ่งอันดับสอง (Second-Order Stationary) [3]

ฟังก์ชันตัวแปรสุ่ม $Z(s)$ เป็นความนิ่งอันดับสอง หากสอดคล้องกับเงื่อนไขต่อไปนี้

(i) ค่าคาดหวังของฟังก์ชันตัวแปรสุ่มเป็นค่าคงตัว นั่นคือ

$$\mathbb{E}[Z(s)] = \mu \quad \text{โดยที่ } \mu \in \mathbb{R} \text{ สำหรับทุก } s \in D$$

(ii) ความแปรปรวนร่วมของทุกคู่ของตำแหน่งขึ้นอยู่กับระยะห่างของเวกเตอร์ h กล่าวคือ

$$\text{Cov}[Z(s+h), Z(s)] = C(h) \quad \text{สำหรับทุก } s+h, s \in D$$

2.3. วาริโอแกรม (Variogram)

วาริโอแกรมหรือเซมิวาริโอแกรม (Variogram or Semivariogram) เป็นเครื่องมือสำหรับการอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งสมมติฐานพื้นฐานของวาริโอแกรมจะเขียนภายใต้ฟังก์ชันตัวแปรสุ่ม $Z(s)$ เมื่อ $s+h, s \in D \subset \mathbb{R}^d$ โดยที่ d เป็นมิติของโดเมนเชิงพื้นที่ D วาริโอแกรมอาศัยความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างจุดตัวอย่าง s_1, \dots, s_n สำหรับค่าที่ทราบแตกต่างกัน n ซึ่งเขียนโดย $Z(s_1), \dots, Z(s_n)$

ขั้นตอนการสร้างวาริโอแกรมของ Z ประกอบด้วย ขั้นตอนแรกสร้างวาริโอแกรมคลาวด์จากข้อมูลตัวอย่าง ขั้นตอนต่อไปคือประมาณค่าวาริโอแกรมสำหรับแต่ละ h โดยใช้วาริโอแกรมเชิงประจักษ์ (Empirical Variogram) และขั้นตอนสุดท้ายสร้างแบบจำลองวาริโอแกรมที่เหมาะสมที่สอดคล้องกับวาริโอแกรมที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า

2.3.1 วาริโอแกรมเชิงทฤษฎี (Theoretical Variogram)

เป็นวาริโอแกรมที่ระบุฟังก์ชันที่วัดความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของฟังก์ชันตัวแปรสุ่ม $Z(s)$ โดยวัดจากความแตกต่างของตัวแปรสุ่มสองตัวแปร ซึ่งจะถูกนิยามโดย

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(s+h) - Z(s)] \text{ สำหรับ } s+h, s \in D$$

จากบทนิยามวาริโอแกรมเชิงทฤษฎี สมมติให้ฟังก์ชันของตัวแปรสุ่มสอดคล้องกับความนิ่งจากภายใน จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
\gamma(h) &= \frac{1}{2} \text{Var}[Z(s+h) - Z(s)] \\
&= \frac{1}{2} \mathbb{E}[(z(s+h) - z(s))^2] - (\mathbb{E}[(z(s+h) - z(s))])^2 \\
&= \frac{1}{2} \mathbb{E}[(z(s+h) - z(s))^2]
\end{aligned}$$

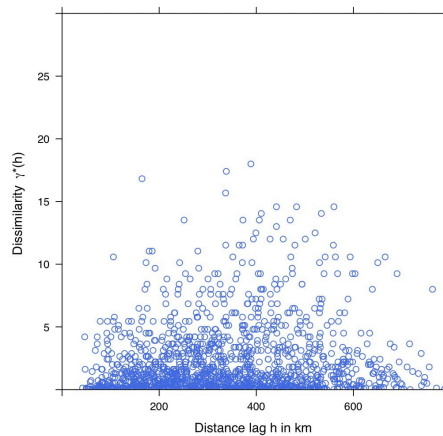
วาริโอแกรมประกอบด้วยจุดข้อมูลแสดงความแปรปรวนของระยะห่าง เป็นเหมือนตัวแทนของค่าที่ใช้ในการคำนวณหาวาริโอแกรม หลังจากการอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีของวาริโอแกรมแล้ว เวคเกอร์นาเกล (Wackernagel) [1], เว็บสเตอร์ (Webster) และโอลิเวอร์ (Oliver) [7] ได้อนุมานวาริโอแกรมเชิงทฤษฎีไว้ว่า การวัดความต่างระหว่างจุดตัวอย่างที่แตกต่างกัน s_i และ s_j สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$\gamma_{i,j}^* = \frac{(Z(s_j) - Z(s_i))^2}{2}$$

เวคเกอร์นาเกล ได้นำเสนอการประมาณค่าวาริโอแกรมเชิงทฤษฎี ดังสมการนี้

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2}(Z(s+h) - Z(s))^2$$

สำหรับการแสดงแผนภาพจากค่าที่ได้จะวาดลงบนระยะทางแบบยุคลิดของเวกเตอร์เชิงพื้นที่ ($\|h\|$) ซึ่งคำนวณจากจุดตัวอย่างทั้งหมด โดยแผนภาพนี้จะเรียกว่า วาริโอแกรมคลาวด์ (Variogram cloud) ที่แสดงเกี่ยวกับโครงสร้างเชิงพื้นที่ของจุดตัวอย่างที่ทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสองจุดในโดเมน D ในเบื้องต้นได้



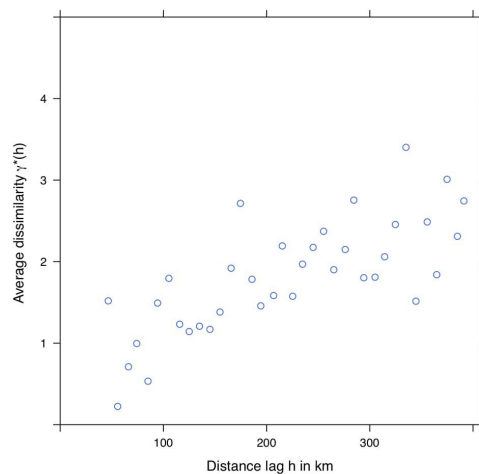
รูปภาพ 1: รูปภาพตัวอย่างของวาริโอแกรมคลาวด์ [6]

2.3.2 วาริโอแกรมเชิงประจักษ์ (Empirical Variogram)

จากการที่ได้วาริโอแกรมคลาวด์แล้ว ต่อไปจะกำหนดจุดที่ถูกสร้างขึ้นสำหรับแต่ละช่วงระยะห่าง h การกำหนดจุดสามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยของวาริโอแกรมคลาวด์ภายในระยะห่าง h ดังแสดงในสมการนี้

$$\gamma_{MA}^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(s_i + h) - Z(s_i))^2$$

เมื่อ $N(h)$ จำนวนคู่ของข้อมูลที่มีระยะห่าง h



รูปภาพ 2: รูปภาพตัวอย่างของวาริโอแกรมเชิงประจักษ์ [6]

2.3.3 แบบจำลองวาริโอแกรม (Variogram Model)

แบบจำลองวาริโอแกรมใช้สำหรับปรับใช้สอดคล้องกับวาริโอแกรมเชิงประจักษ์ แบบจำลองที่นิยมใช้มีหลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่นแบบจำลองด้านล่างนี้ สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลองเลขชี้กำลัง (Exponential model)

1. แบบจำลองทรงกลม (Spherical model)

$$\gamma_{sph}(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ c_0 + c \left(1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right), & 0 < h \leq a \\ c_0 + c, & h > a \end{cases}$$

2. แบบจำลองเลขชี้กำลัง

$$\gamma_{exp}(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ c_0 + c \left(1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right), & h \neq 0 \end{cases}$$

3. แบบจำลองเกาส์เซียน (Gaussian model)

$$\gamma_{gau}(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ c_0 + c \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{3h}{a}\right)^2\right) \right), & h \neq 0 \end{cases}$$

เมื่อ $c, c_0, a > 0$ และเรียก $c_0 + c$, c_0 และ a ว่า ซิล (sill), นั๊กเก็ต (Nugget) และเรนจ์ (Range) ตามลำดับ พารามิเตอร์ของวาริโอแกรม (Variogram Parameters)

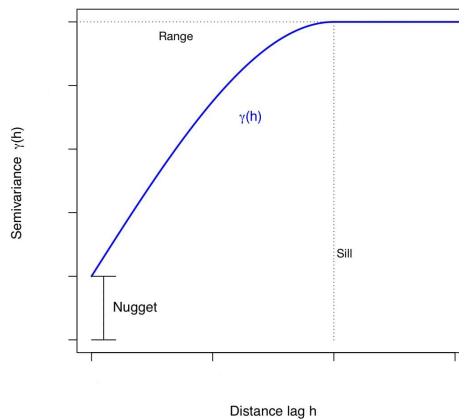
พารามิเตอร์ของวาริโอแกรมมีดังนี้

(1) นั๊กเก็ต (Nugget) เป็นค่าของวาริโอแกรมที่จุดกำเนิดที่ $h = 0$ โดยที่ $\gamma(h) \rightarrow c_0$

เมื่อ $h \rightarrow 0$ ดังนั้นความสูงของ c_0 จะถูกเรียกว่านั๊กเก็ต อธิบายถึงความผิดพลาดจากการเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างเกินไปหรือความผิดพลาดที่เกิดจากการวิเคราะห์

(2) ซิล (sill) เป็นค่าวาริโอแกรม เมื่อ h เข้าสู่ค่าอนันต์ นั่นคือ $\gamma(\infty) = \lim_{||h|| \rightarrow \infty} \gamma(h)$

(3) เรนจ์ (Range) เป็นระยะ h เมื่อ $\gamma(h) = \gamma(\infty)$ เป็นครั้งแรก



รูปภาพ 3: รูปภาพตัวอย่างของพารามิเตอร์ของวาริโอแกรม [6]

2.4. คริกกิงแบบถดถอย (Regression Kriging)

วิธีการในการประมาณค่าในตำแหน่งอื่นมีหลากหลายกระบวนการ เช่น กระบวนการ Inverse distance weight (IDW), กระบวนการเสมือนพหุนาม (Spline) และหนึ่งในนั้นที่นิยมใช้กันได้แก่ กระบวนการคริกกิง (Kriging) ซึ่งคริกกิงแบ่งได้หลายประเภท เช่น คริกกิงเชิงเดียว (Simple Kriging), คริกกิงสามัญ (Ordinary Kriging), คริกกิงสากล (Universal Kriging), คิกกิงแบบถดถอย และ โคคริกกิง (Co-Kriging) เป็นต้น สำหรับการศึกษาค้างนี้จะใช้วิธีคริกกิงแบบถดถอย เพื่อประมาณค่าเชิงพื้นที่โดยใช้ตัวแปรเสริมที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้น PM2.5

คริกกิงแบบถดถอย เป็นวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ที่รวมกับตัวแปรเสริมที่อาจส่งผลต่อตัวแปรตาม ซึ่งสุ่มตัวอย่างจากตำแหน่งเดียวกัน ในขั้นตอนแรกจะปรับแบบจำลองให้เหมาะสมกับตัวแปรตามและตัวแปรเสริมซึ่งเรียกว่า ฟังก์ชันแนวโน้ม (Trend Function) หลังจากนั้นใช้แบบจำลองนี้ประมาณค่าของตัวแปรตามในตำแหน่งที่กำหนดและสุดท้ายจะประมาณค่าเชิงพื้นที่โดยใช้คริกกิงและค่าที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อประมาณค่าของตัวแปรตาม

บทนิยาม 2.4.1 ตัวประมาณค่าสำหรับคริกกิงแบบถดถอย

ตัวประมาณค่าคริกกิงแบบถดถอย $\hat{z}(s_0)$ คือผลรวมของฟังก์ชันแนวโน้ม $\mu(s)$ และ เศษเหลือ (Residual) $\hat{\epsilon}_{OK}(s_0)$ ดังนี้

$$\hat{z}(s_0) = \mu(s_0) + \hat{\epsilon}_{OK}(s_0),$$

โดยที่ $\mu(s) = \beta_0 + \sum_{l=1}^L \beta_l f_l(X(s))$ เรียกว่า ฟังก์ชันแนวโน้ม

และ $\hat{\epsilon}_{OK}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i)$ คือ ค่าประมาณที่ได้จากวิธีคริกกิงสามัญ เมื่อ $E[\epsilon(s)] = 0$

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าประมาณโดยวิธีคริกกิงแบบถดถอย

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างฟังก์ชันแนวโน้มที่สอดคล้องกับข้อมูล $X(s_i)$ และ $z(s_i)$ สำหรับ $i = 1, \dots, n$ โดยมีสมการดังนี้

$$\mu(s) = \beta_0 + \sum_{l=1}^L \beta_l f_l(X(s))$$

โดยที่ $X(s) = [X_1(s), X_2(s), \dots, X_m(s)]^T$ เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรเสริมที่มี m ตัว และ $f_l(X(s))$ คือ ฟังก์ชันของตัวแปรเสริม เช่น ความชื้น ความดัน ความกดอากาศ เป็นต้น โดยที่ $f_0 = 1$

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary least square : OLS) เป็นวิธีประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย เพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองของความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ โดยคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองได้ดังนี้

$$\beta_{OLS} = (F^T F)^{-1} F^T z$$

โดยที่ $\beta_{OLS} = [\hat{\beta}_0, \dots, \hat{\beta}_L]^T$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & f_1(X(s_1)) & \dots & f_l(X(s_1)) \\ 1 & f_1(X(s_2)) & \dots & f_l(X(s_2)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & f_1(X(s_n)) & \dots & f_l(X(s_n)) \end{bmatrix}$$

$$z = [z(s_1), \dots, z(s_n)]^T$$

แทนค่า β_{OLS} ลงในสมการจะได้ว่า

$$\mu(s) = \hat{\beta}_0 + \sum_{l=1}^L \hat{\beta}_l f_l(X(s))$$

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณหาค่าเศษเหลือ คำนวณได้จากข้อมูลที่ทราบค่าและค่าประมาณขั้นตอน 1 จะได้

$$\epsilon(s_i) = z(s_i) - \mu(s_i)$$

ขั้นตอนที่ 3 การประมาณค่า $\hat{\epsilon}_{OK}(s_0)$ โดยใช้วิธีคริกกิงสามัญ

$\hat{\epsilon}_{OK}(s_0)$ คือ ผลรวมเชิงเส้นของน้ำหนัก $\lambda_i \in \mathbb{R}$ กับเศษเหลือของจุดตัวอย่าง s_i

$$\hat{\epsilon}_{OK}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \epsilon(s_i)$$

โดยที่ $\lambda_i \in \mathbb{R}$, $i = 1, 2, \dots, n$ คือ น้ำหนัก

น้ำหนัก λ_i สามารถคำนวณได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้

(i) เงื่อนไขของความไม่เอนเอียง (Unbiasedness Condition) [8]

$$\mathbb{E}[\hat{\epsilon}_{OK}(s_0) - \epsilon(s_0)] = 0$$

จะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

(ii) การหาค่าต่ำสุดของความแปรปรวนค่าคลาดเคลื่อนของการทำนาย (Minimization of the prediction error variance) [8]

$$\begin{aligned} \sigma_{err}^2 &= \text{Var}(\hat{\epsilon}_{OK}(s_0) - \epsilon(s_0)) \\ &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) \end{aligned}$$

บทแทรก 2.4.2 สมการคริกกิงของตัวประมาณค่า คือ

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + \varphi = \gamma(s_i - s_0), \quad \text{สำหรับทุก } i = 1, 2, \dots, n$$

และ

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

โดยที่ $\varphi \in \mathbb{R}$ คือ ตัวคูณลากรางจ์

จากบทแทรกข้างต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \gamma(s_1 - s_1) & \gamma(s_1 - s_2) & \dots & \gamma(s_1 - s_n) & 1 \\ \gamma(s_2 - s_1) & \gamma(s_2 - s_2) & \dots & \gamma(s_2 - s_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma(s_n - s_1) & \gamma(s_n - s_2) & \dots & \gamma(s_n - s_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(s_1 - s_0) \\ \gamma(s_2 - s_0) \\ \vdots \\ \gamma(s_n - s_0) \\ 1 \end{bmatrix}$$

พิสูจน์ เนื่องจาก

$$\text{Minimize } \sigma_{err}^2 = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

จากวิธีตัวคูณลากรางจ์มาใช้ จะได้ฟังก์ชันลากรางจ์เขียน คือ

$$A(\lambda_i, \varphi) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) - 2\varphi \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right)$$

เมื่อ $\varphi \in \mathbb{R}$ คือ ตัวคูณลากรางจ์

สำหรับ $i = 1, \dots, n$ หาอนุพันธ์ย่อยของ A เทียบกับ λ_i และ φ จะได้ว่า

$$\frac{\partial A}{\partial \lambda_i} = -2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2\gamma(s_i - s_0) - 2\varphi, \forall i = 1, \dots, n$$

และ

$$\frac{\partial A}{\partial \varphi} = -2 \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right)$$

กำหนดให้ อนุพันธ์ย่อยจะต้องเท่ากับ 0 จะได้

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + \varphi = \gamma(s_i - s_0), \quad \text{สำหรับทุก } i = 1, 2, \dots, n$$

และ

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

โดยที่ $\varphi \in \mathbb{R}$ คือ ตัวคูณลากรางจ์ □

จาก [6] การพิสูจน์นี้จะได้ค่าต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 4 จากขั้นตอน 1 ถึง 3 นำค่าฟังก์ชันแนวมรวมกับเศษเหลือ จะได้ค่าประมาณของวิธีคริกกแบบ
ถดถอย

$$\hat{z}(s_0) = \mu(s_0) + \hat{\epsilon}_{OK}(s_0),$$

2.5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล

การศึกษาค้นคว้าอิสระเล่มนี้ ผู้วิจัยได้นำความรู้เรื่อง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่เป็น การวิเคราะห์ว่าข้อมูลของตัวแปรสองตัวมีความผันแปรเกี่ยวเนื่องกันมากน้อยเพียงใด โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ มีหลายชนิด แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) และสหสัมพันธ์เชิงอันดับของสเปียร์แมน (Spearman Rank Correlation)

1. สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) เป็นเทคนิคที่ใช้หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณ ชื่อสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ให้ชื่อตาม คาร์ล เพียร์สัน (Karl Pearson) ผู้คิดค้นวิธีนี้ ขึ้นมาในปี 1900 ซึ่งถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายสัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน คือ r โดยมีสูตรการคำนวณความสัมพันธ์ของตัวแปร x และ y มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

2. สหสัมพันธ์เชิงอันดับของสเปียร์แมน (Spearman Rank Correlation) เป็นวิธีที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หรือข้อมูล 2 ชุด โดยใช้อันดับ (rank) ของข้อมูลแทนค่าตัวแปรจริง ซึ่งสูตรในการคำนวณสหสัมพันธ์เชิงอันดับของสเปียร์แมนมีดังนี้

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

โดยที่ d_i คือ ความแตกต่างระหว่างอันดับของสองตัวแปร โดยที่ $i = 1, \dots, n$ และ n คือ จำนวนข้อมูล

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าอยู่ในช่วง -1.0 ถึง +1.0 โดยที่เครื่องหมายลบ (-) หรือเครื่องหมายบวก (+) แสดงถึงทิศทางของความสัมพันธ์ โดยที่หากมีเครื่องหมายลบ หมายถึง ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม แต่หากมีเครื่องหมายบวก หมายถึง ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 1.0 แสดงถึงตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมาก แต่หากมีค่าเป็น 0 แสดงถึงตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย การแปลความหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีการใช้ตารางที่กำหนดช่วงของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และระดับความสัมพันธ์ดังตารางนี้

ช่วงค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
(0.79, 1.00]	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
(0.59, 0.79]	มีความสัมพันธ์กันสูง
(0.39, 0.59]	มีความสัมพันธ์กันปานกลาง
(0.19, 0.39]	มีความสัมพันธ์กันต่ำ
(0, 0.19]	มีความสัมพันธ์กันต่ำมาก

ตาราง 1: ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และระดับความสัมพันธ์

2.6. การประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment)

ในการศึกษานี้จะใช้การประเมินความถูกต้องของข้อมูลที่ประมาณได้กับข้อมูลจริงโดยใช้วิธีดังนี้

ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error)

สามารถหาได้จากสมการนี้

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{x_m^i - x_r^i}{x_r^i} \right|}{n} \times 100$$

โดยที่ x_r^i คือ ข้อมูลจริง, x_m^i คือ ข้อมูลที่ได้จากการประมาณ และ n คือ จำนวนข้อมูล

ในบทต่อไป ผู้จัดทำจะนำกระบวนการคริกกิงแบบถดถอยที่ได้กล่าวมาในข้างต้นมาประมาณค่าในตำแหน่งที่ไม่ทราบค่า เนื่องจากในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนมีสถานีตรวจวัดค่าความเข้มข้น PM2.5 เพียง 16 จุด ทำให้ไม่ทราบค่าในหลายพื้นที่ ดังนั้นจึงจะประยุกต์ใช้คริกกิงแบบถดถอยสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พร้อมทั้งศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของตัวแปร เช่น ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา หรือจำนวนจุดความร้อนกับความเข้มข้นของ PM2.5 ของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่ประมาณได้เทียบกับข้อมูลทดสอบ

บทที่ 3

ผลการศึกษา (Main result)

3. ผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลของตัวแปร ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์เป็นข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา และจำนวนจุดความร้อนเป็นข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมของกรมป่าไม้กับความเข้มข้นของ PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในรอบ 3 ปี ได้แก่ปี 2564 - 2566 ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนทั้งหมด 3 เดือน ซึ่งจะนำข้อมูลดังกล่าวมาศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน แล้วนำข้อมูลที่มีความสัมพันธ์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับคริกกิงแบบถดถอยสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 และลำดับสุดท้ายจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่ประมาณได้เทียบกับข้อมูลทดสอบ โดยใช้การประเมินความถูกต้องของข้อมูลแบบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ผู้จัดทำขอแบ่งหัวข้อในการศึกษาเป็นดังนี้

3.1. ข้อมูลที่ศึกษา

สถานีที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 8 สถานีดังนี้

ชื่อ	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	สถานที่
57T	เวียง	เมือง	เชียงราย	สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จ.เชียงราย
36T	ศรีภูมิ	เมือง	เชียงใหม่	โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย
67T	ในเวียง	เมือง	น่าน	สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน
70T	บ้านต๋อม	เมืองพะเยา	พะเยา	สนามกีฬาจังหวัดพะเยา
69T	นาจักร	เมือง	แพร่	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่
58T	จองคำ	เมือง	แม่ฮ่องสอน	สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จ.แม่ฮ่องสอน
37T	พระบาท	เมือง	ลำปาง	สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง
68T	บ้านกลาง	เมือง	ลำพูน	สถานีอุตุนิยมวิทยาลำพูน

ตาราง 2: สถานีวัดคุณภาพอากาศของภาคเหนือตอนบน 8 สถานี

ในแต่ละสถานีประกอบด้วยละติจูดและลองจิจูดดังนี้

ชื่อ	ละติจูด	ลองจิจูด
57T	19.9099	99.8235
36T	18.7909	98.9880
67T	18.7888	97.9719
70T	19.2030	99.8919
69T	18.1320	100.1623
58T	19.3045	97.9719
37T	18.2784	99.5065
68T	18.5667	99.0386

ตาราง 3: ละติจูดและลองจิจูดของสถานีวัดคุณภาพอากาศของภาคเหนือตอนบน 8 สถานี

ต่อไปจะเป็นข้อมูลความเข้มข้นของ PM2.5 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยทั้งหมด 8 สถานี โดยข้อมูลที่น่ามาศึกษาจะมีทั้งหมด 3 ปี ได้แก่ปี 2564 - 2566 ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนทั้งหมด 3 เดือน แต่ในบพนี้จะยกตัวอย่างข้อมูลมาเฉพาะเดือนมีนาคมของปี 2564 และได้นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาศึกษาแสดงในส่วนภาคผนวก ข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนมีนาคมของปี 2564 มีข้อมูลดังตารางต่อไปนี้

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2564	64	72	76	79	89	88	122	65
2/3/2564	65	66	78	82	97	103	126	73
3/3/2564	72	94	54	84	73	153	112	86
4/3/2564	60	71	31	45	31	131	36	57
5/3/2564	53	50	39	38	40	126	43	44
6/3/2564	72	87	52	68	46	201	70	68

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
7/3/2564	83	116	55	89	67	323	116	84
8/3/2564	108	108	48	103	48	291	105	77
9/3/2564	105	103	52	89	50	211	73	79
10/3/2564	88	105	54	76	59	213	82	92
11/3/2564	77	114	54	77	63	228	80	95
12/3/2564	74	102	50	79	65	208	76	77
13/3/2564	79	104	55	78	66	162	72	79
14/3/2564	70	94	62	70	66	125	67	71
15/3/2564	66	74	61	63	68	90	62	55
16/3/2564	62	66	61	57	55	97	59	53
17/3/2564	63	67	58	57	56	103	62	57
18/3/2564	69	76	57	59	51	110	58	56
19/3/2564	71	73	57	58	64	137	63	55
20/3/2564	71	69	61	64	80	130	65	54
21/3/2564	68	60	60	63	65	117	66	46
22/3/2564	48	55	33	45	36	135	48	42
23/3/2564	34	36	31	41	32	109	32	29
24/3/2564	44	42	52	46	44	127	39	36
25/3/2564	53	59	62	53	53	125	47	45
26/3/2564	54	52	62	53	58	144	47	39
27/3/2564	59	64	64	56	57	132	50	44
28/3/2564	73	64	64	65	52	120	59	53
29/3/2564	74	73	47	66	49	89	55	53
30/3/2564	125	93	74	90	63	127	86	74
31/3/2564	111	97	98	88	87	82	90	79

ตาราง 4: ข้อมูลความเข้มข้น PM2.5 ของสถานีวัดคุณภาพอากาศของภาคเหนือตอนบน 8 สถานี
ของเดือนมีนาคม ปี 2564

ตารางต่อไปนี้จะแสดงข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ข้อมูลมาจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา
ยกตัวอย่างเฉพาะเดือนมีนาคมของปี 2564 โดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2564	64.25	46	61	53.13	58.63	56.63	48.88	51.63
2/3/2564	66.38	47.38	62.25	57.88	59.13	55	49.25	53
3/3/2564	69.88	50.5	75.13	64	61.63	58.5	54.88	54.75
4/3/2564	70.5	51.13	74.75	60.38	69.38	54.38	58	55.63
5/3/2564	53.63	49.13	66.25	50.38	64.88	47.88	51.25	55.63
6/3/2564	59.5	39.25	59.63	49.38	58.63	54.25	46.13	47.63
7/3/2564	64.5	41.38	56.13	57	59.5	60.75	45	49.5
8/3/2564	67.13	44.88	60.13	61.75	61.13	59.75	52	44.63
9/3/2564	70.75	44.63	66.13	57.75	61.25	53.75	52	48.5
10/3/2564	69.38	49.25	69.75	58.25	62.25	60.63	54.75	54.13
11/3/2564	70.38	53.5	71.13	66.13	64.63	63.75	53.5	59.88
12/3/2564	73.88	56.75	69.75	71	63.63	65.5	55.25	60.75
13/3/2564	66.25	54.88	69.5	63	64.75	57.88	53.63	59.63
14/3/2564	70.5	54.75	68.13	60.88	66.38	54.13	58.5	58.88
15/3/2564	68.75	56.88	65	56.13	65.88	52.63	58.75	59
16/3/2564	66.25	48.88	64.63	53.13	64.5	50.88	52	52.38
17/3/2564	64.63	46.88	63.5	52.13	63.5	50.38	50.88	52.88
18/3/2564	67.25	48.5	64.13	53.13	63.63	52	53.25	53.75
19/3/2564	67.38	47.25	63	55.25	63	51.75	50.75	52.5
20/3/2564	65.13	47.63	62	52.88	58.63	51.38	46.75	52.63
21/3/2564	60.88	45.38	60	50.75	55.75	47.38	50.38	50.13
22/3/2564	66.88	57.63	56.5	52.38	52.75	49.25	53.63	54.5
23/3/2564	69.38	62.25	61.13	54.75	52.5	55.88	55.13	61.13
24/3/2564	68.25	56.25	60.25	58.63	54.25	56.5	52.5	58.63
25/3/2564	67.13	54.38	66	53.38	55	52.13	48.75	54.75

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
26/3/2564	63.25	52.63	63.5	50.13	55.88	56.13	54.63	56.13
27/3/2564	66.63	56.13	65	53.63	59	51.63	60.25	57.13
28/3/2564	64.88	55.75	61.13	51.13	57.75	52	54.88	55.88
29/3/2564	58.38	51.75	60.5	47.13	56	44.75	46.25	50.38
30/3/2564	57.25	45.13	64.13	50.38	60.63	44.75	51.38	48.63
31/3/2564	55.75	49	59.63	46.13	55.38	48.38	45.25	50.5

ตาราง 5: ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสถานีวัดคุณภาพอากาศของภาคเหนือตอนบน 8 สถานี
ของเดือนมีนาคม ปี 2564

ตารางต่อไปนี้จะแสดงข้อมูลจำนวนจุดความร้อนเป็นข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมของกรมป่าไม้ของเดือนมีนาคมของปี 2564 โดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2564	0	22	2	9	19	52	59	33
2/3/2564	0	6	1	5	5	13	5	11
3/3/2564	0	7	0	0	5	32	6	18
4/3/2564	0	4	0	0	0	28	1	3
5/3/2564	3	22	1	6	0	49	19	9
6/3/2564	1	20	0	0	6	69	12	17
7/3/2564	0	28	0	2	6	40	24	13
8/3/2564	3	75	2	2	1	73	29	23
9/3/2564	3	13	1	4	3	19	5	1
10/3/2564	1	30	1	1	2	44	7	5
11/3/2564	0	8	0	1	2	1	0	1
12/3/2564	1	5	1	0	1	15	2	1
13/3/2564	0	3	0	0	0	6	0	3

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
14/3/2564	0	0	1	0	2	12	1	0
15/3/2564	1	5	0	1	1	12	1	1
16/3/2564	2	4	2	1	4	5	1	1
17/3/2564	0	4	0	0	0	8	0	2
18/3/2564	0	12	1	1	0	10	1	0
19/3/2564	0	12	6	1	7	35	0	2
20/3/2564	2	8	1	0	1	5	1	2
21/3/2564	4	30	0	1	9	19	2	1
22/3/2564	0	8	1	1	1	24	2	0
23/3/2564	0	0	3	0	1	7	0	0
24/3/2564	0	24	6	3	1	10	3	2
25/3/2564	0	4	3	0	3	8	0	0
26/3/2564	0	5	8	4	11	21	4	5
27/3/2564	0	1	0	1	4	5	0	1
28/3/2564	3	3	3	0	2	8	2	1
29/3/2564	7	6	1	2	2	9	1	2
30/3/2564	3	9	0	0	4	8	1	0
31/3/2564	5	32	10	7	9	10	1	0

ตาราง 6: ข้อมูลจำนวนจุดความร้อนของสถานีวัดคุณภาพอากาศของภาคเหนือตอนบน 8 สถานี
ของเดือนมีนาคม ปี 2564

3.2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

สำหรับการศึกษานี้ ผู้จัดทำได้นำข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และข้อมูลจำนวนจุดความร้อนในเดือน
กุมภาพันธ์ - เดือนเมษายน ปี 2564 - 2566 วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลของ PM2.5 โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันและแบบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน แล้วนำมาประมาณค่าเชิง
พื้นที่โดยใช้กริกกิงแบบถดถอยในหัวข้อถัดไป จากการวิเคราะห์ได้ผลการศึกษาเป็นตามตารางดังนี้

1). ตารางแสดงค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันและแบบ สเปียร์แมนระหว่าง PM2.5 และความชื้นสัมพัทธ์

เดือน/ปี	Pearson's Correlation	Spearman's Correlation
กุมภาพันธ์ 2564	-0.3056	-0.3076
มีนาคม 2564	-0.2584	-0.2705
เมษายน 2564	-0.2891	-0.2602
กุมภาพันธ์ 2565	-0.1878	-0.1360
มีนาคม 2565	-0.4040	-0.2228
เมษายน 2565	-0.1929	-0.2376
กุมภาพันธ์ 2566	0.0700	0.1350
มีนาคม 2566	-0.1050	-0.0259
เมษายน 2566	0.0746	0.0828

ตาราง 7: ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันและแบบสเปียร์แมนระหว่าง PM2.5 และความชื้นสัมพัทธ์
ของเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน ปี 2564 - 2566

2). ตารางแสดงค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันและแบบสเปียร์แมนระหว่าง PM2.5 และจำนวน
จุดความร้อน

เดือน/ปี	Pearson's Correlation	Spearman's Correlation
กุมภาพันธ์ 2564	0.2720	0.2072
มีนาคม 2564	0.7359	0.5449
เมษายน 2564	0.4464	0.3478
กุมภาพันธ์ 2565	0.1035	0.0167
มีนาคม 2565	0.6980	0.4174
เมษายน 2565	0.4502	0.3352
กุมภาพันธ์ 2566	0.2297	0.1762
มีนาคม 2566	0.5478	0.5657
เมษายน 2566	0.5018	0.5302

ตาราง 8: ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันและแบบสเปียร์แมนระหว่าง PM2.5 และจุดความร้อนของ
เดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน ปี 2564 - 2566

จากทั้งสองตาราง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีผลว่า ความเข้มข้น PM2.5 มีความสัมพันธ์ต่อกันที่ระดับปานกลางถึงสูงกับจุดความร้อน แต่มีความสัมพันธ์น้อยกับความชื้นสัมพัทธ์ ทั้งสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน ซึ่งความเข้มข้น PM2.5 มีความสัมพันธ์ต่อกันกับจุดความร้อนในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนในปี 2564 - 2566 มีความสัมพันธ์มากกว่าเดือนกุมภาพันธ์ปี 2564 - 2566 ดังนั้นจึงนำข้อมูลจุดความร้อนในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายนมาประยุกต์ใช้กับคริกกิงแบบถดถอย เพื่อประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในรอบ 3 ปี

3.3. การประยุกต์ใช้คริกกิงแบบถดถอยในการประมาณค่าเชิงพื้นที่และการตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่ประมาณได้เทียบกับข้อมูลทดสอบ

สถานีตรวจวัดทั้งหมด 6 สถานีที่นำมาทดสอบความถูกต้องของการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 มีดังนี้

สถานี	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	สถานที่
35T	ช้างเผือก	เมือง	เชียงใหม่	ศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่
38T	สบป่าด	แม่เมาะ	ลำปาง	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านสบป่าด
39T	บ้านดง	แม่เมาะ	ลำปาง	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านท่าสี่
40T	แม่เมาะ	แม่เมาะ	ลำปาง	สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคอำเภอแม่เมาะ
73T	เวียงพางคำ	แม่สาย	เชียงราย	สำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่สาย
75T	ห้วยโก๋น	เฉลิมพระเกียรติ	น่าน	โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ น่าน

ตาราง 9: สถานีวัดคุณภาพอากาศของภาคเหนือตอนบน 6 สถานี

สถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
35T	18.8373	98.9708
38T	18.2503	99.7639
39T	18.4268	99.7577
40T	18.2816	99.6592
73T	20.4273	99.8834
75T	19.5755	101.0820

ตาราง 10: ละติจูดและลองจิจูดของสถานีวัดคุณภาพอากาศของภาคเหนือตอนบน 6 สถานี

ขั้นตอนถัดมานำแบบจำลองเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในแต่ละสถานีตามละติจูดและลองจิจูดทั้ง 6 สถานี โดยใช้วิธีการแบบถดถอย ได้ผลค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ยทั้งหมด 6 สถานีใน 1 วันเป็นดังนี้

ตารางผลการศึกษาของค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 6 สถานีในแต่ละวันประจำเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2564

เดือนมีนาคม 2564	MAPE	เดือนเมษายน 2564	MAPE
1/3/2564	25.996	1/4/2564	27.868
2/3/2564	29.791	2/4/2564	26.852
3/3/2564	34.924	3/4/2564	51.039
4/3/2564	42.500	7/4/2564	36.101
5/3/2564	59.133	9/4/2564	38.972
6/3/2564	51.316	11/4/2564	17.331
7/3/2564	82.431	12/4/2564	18.835
8/3/2564	65.201	13/4/2564	24.893
9/3/2564	49.939	16/4/2564	20.450
10/3/2564	55.164	19/4/2564	36.501
11/3/2564	54.269	20/4/2564	36.080
12/3/2564	47.034	21/4/2564	33.400
13/3/2564	26.839	22/4/2564	26.139
14/3/2564	28.106	23/4/2564	26.879
15/3/2564	15.271	24/4/2564	20.978
16/3/2564	14.375	25/4/2564	13.869
17/3/2564	19.787	29/4/2564	36.371
18/3/2564	19.098	ค่าเฉลี่ย	28.974
19/3/2564	17.926		
20/3/2564	20.741		
21/3/2564	20.024		
23/3/2564	25.151		
24/3/2564	30.956		
25/3/2564	19.687		
26/3/2564	25.564		
27/3/2564	18.777		
28/3/2564	20.964		
29/3/2564	16.148		
30/3/2564	22.620		
31/3/2564	26.701		
ค่าเฉลี่ย	32.881		

ตาราง 11: ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 6 สถานีประจำเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2564

ตารางผลการศึกษาของค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 6 จุดในแต่ละวันประจำเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2565

เดือนมีนาคม 2565	MAPE		เดือนเมษายน 2565	MAPE
1/3/2565	13.646		1/4/2565	11.706
2/3/2565	20.921		4/4/2565	13.946
3/3/2565	21.211		5/4/2565	27.384
4/3/2565	12.998		7/4/2565	13.390
5/3/2565	14.840		12/4/2565	10.882
6/3/2565	19.289		15/4/2565	10.288
7/3/2565	19.364		17/4/2565	10.824
11/3/2565	28.300		18/4/2565	15.470
12/3/2565	21.863		23/4/2565	9.669
13/3/2565	15.776		25/4/2565	10.644
17/3/2565	45.983		26/4/2565	13.732
18/3/2565	39.275		27/4/2565	17.203
20/3/2565	15.939		28/4/2565	13.545
25/3/2565	28.332		30/4/2565	20.174
26/3/2565	15.588		ค่าเฉลี่ย	14.204
27/3/2565	15.775			
28/3/2565	26.228			
30/3/2565	18.128			
31/3/2565	21.017			
ค่าเฉลี่ย	21.814			

ตาราง 12: ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 6 สถานีประจำเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2565

ตารางผลการศึกษาค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 6 จุดในแต่ละวันประจำเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2566

เดือนมีนาคม 2566	MAPE	เดือนเมษายน 2566	MAPE
1/3/2566	9.920	1/4/2566	38.225
2/3/2566	4.590	2/4/2566	26.726
3/3/2566	15.317	3/4/2566	23.818
4/3/2566	17.666	4/4/2566	34.046
5/3/2566	7.381	5/4/2566	18.983
6/3/2566	22.583	6/4/2566	18.356
7/3/2566	16.361	7/4/2566	18.957
8/3/2566	16.401	8/4/2566	16.744
9/3/2566	17.072	9/4/2566	16.109
10/3/2566	24.009	11/4/2566	8.218
11/3/2566	19.974	12/4/2566	14.273
12/3/2566	22.972	13/4/2566	15.141
15/3/2566	20.850	14/4/2566	28.950
16/3/2566	18.213	15/4/2566	29.833
17/3/2566	16.287	16/4/2566	27.572
18/3/2566	16.183	17/4/2566	11.457
19/3/2566	29.198	18/4/2566	9.790
20/3/2566	27.543	19/4/2566	6.420
21/3/2566	39.450	20/4/2566	10.578
22/3/2566	24.134	21/4/2566	7.858
23/3/2566	24.612	22/4/2566	14.409
24/3/2566	16.195	23/4/2566	14.249
25/3/2566	51.477	24/4/2566	21.656
26/3/2566	30.733	25/4/2566	19.828
27/3/2566	44.516	26/4/2566	28.043
28/3/2566	51.681	27/4/2566	22.956
31/3/2566	19.678	28/4/2566	17.953
ค่าเฉลี่ย	23.148	29/4/2566	15.427
		30/4/2566	28.021
		ค่าเฉลี่ย	19.469

ตาราง 13: ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 6 สถานีประจำเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2566

การตรวจสอบความถูกต้องของค่าประมาณที่ได้เทียบกับข้อมูลทดสอบที่เป็นข้อมูลจริง มีผลค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ยเป็นดังนี้

ปี	เดือน	ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)
2564	มีนาคม	32.881
2564	เมษายน	28.974
2565	มีนาคม	21.814
2565	เมษายน	14.204
2566	มีนาคม	23.148
2566	เมษายน	19.469
ค่าเฉลี่ยทั้งหมด		23.415

ตาราง 14: ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2564 - 2566

บทที่ 4

สรุปผลการศึกษา (Conclusion)

จากผลการศึกษาเรื่อง การประยุกต์ใช้คริกกิงแบบถดถอยสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยทั้ง 8 จังหวัดได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน น่าน แพร่ และพะเยา ตั้งแต่ปี 2564 - 2566 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ซึ่งได้ศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของตัวแปร ได้แก่ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และข้อมูลจำนวนจุดความร้อนกับข้อมูลความเข้มข้นของ PM2.5 พบว่า ข้อมูลความเข้มข้นของ PM2.5 มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงสูงกับข้อมูลจำนวนจุดความร้อน โดยเฉพาะในเดือนมีนาคมและเมษายน 2564 - 2566 แต่ข้อมูลความเข้มข้น PM2.5 มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อยกว่าข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้นจึงเลือกข้อมูลความเข้มข้นของ PM2.5 กับข้อมูลจำนวนจุดความร้อน ในเดือนมีนาคมและเมษายน 2564 - 2566 ประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่โดยใช้คริกกิงแบบถดถอย

การประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยทั้ง 8 จังหวัด ตั้งแต่ปี 2564 - 2566 ในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน โดยใช้คริกกิงแบบถดถอย ซึ่งมีข้อมูลจำนวนจุดความร้อนเป็นตัวแปรเสริม ซึ่งได้ศึกษาพบว่า ในแต่ละวันของเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2564 ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 32.881% และ 28.974% ตามลำดับ เดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2565 ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 21.814% และ 14.204% ตามลำดับ และเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปี 2566 ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 23.148% และ 19.469% ตามลำดับ และตลอดทั้ง 3 ปี ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย 23.415%

จากผลค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย อยู่ในช่วง 14% - 33% โดยผลการศึกษาแบ่งชี้ถึงระดับความแม่นยำในระดับที่ปานกลาง นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้บางเดือนมีค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง อาจมีผลมาจากจำนวนสถานีที่ใช้สร้างสมการการประมาณมีจำนวนน้อยและจำนวนจุดความร้อนที่ใช้ไม่แยกตามที่ตั้งของสถานี

บรรณานุกรม

- [1] H. Wackernagel, Multivariate geostatistics: an introduction with applications. Springer Science & Business Media, 2003.
- [2] J.-M. Montero, G. Fernández-Avilés, and J. Mateu, Spatial and spatio-temporal geo- statistical modeling and kriging, vol. 998. John Wiley & Sons, 2015.
- [3] C. Lantuéjoul, Geostatistical simulation: models and algorithms. Springer Science & Business Media, 2013.
- [4] G. Matheron, Traité de géostatistique appliquée. No. 14, Editions Technip, 1962.
- [5] N. Cressie and S. N. Lahiri, “The asymptotic distribution of reml estimators,” Journal of multivariate analysis, vol. 45, no. 2, pp. 217–233, 1993.
- [6] A. Lichtenstern, Kriging methods in spatial statistics. Bachelor’s thesis, Technical University of Munich, Germany, 2013.
- [7] R. Webster and M. A. Oliver, Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons, 2007.
- [8] P. K. Bhattacharya and P. Burman, Theory and methods of statistics. Academic Press, 2016.

ภาคผนวก

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2564	39	37	34	51	49	28	46	42
2/2/2564	27	28	38	37	42	31	57	36
3/2/2564	23	20	44	37	46	30	69	42
4/2/2564	29	32	39	41	46	29	69	45
5/2/2564	43	47	49	61	45	34	71	50
6/2/2564	48	59	47	73	50	44	80	66
7/2/2564	53	59	47	72	52	53	73	65
8/2/2564	16	40	46	23	57	36	64	43
9/2/2564	7	9	13	5	8	21	6	11
10/2/2564	9	12	19	11	14	21	13	17
11/2/2564	14	20	22	14	17	24	28	28
12/2/2564	20	25	30	26	27	28	41	40
13/2/2564	30	31	40	38	35	27	48	43
14/2/2564	38	34	53	53	42	31	57	50
15/2/2564	41	40	52	62	47	51	59	55
16/2/2564	39	42	49	55	49	86	49	51
17/2/2564	35	41	45	48	52	74	60	52
18/2/2564	36	50	37	42	38	65	51	48
19/2/2564	32	38	37	35	34	39	46	44
20/2/2564	28	30	38	29	40	41	61	50
21/2/2564	26	37	39	31	41	48	59	49
22/2/2564	22	32	48	31	59	35	67	43
23/2/2564	29	42	59	50	66	47	81	56
24/2/2564	44	53	61	69	65	54	79	53
25/2/2564	41	38	62	49	62	40	55	32
26/2/2564	38	46	55	55	66	50	76	52
27/2/2564	49	63	57	53	92	70	110	64
28/2/2564	55	76	70	71	93	86	127	73

ตาราง 15: ตารางแสดงข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2564

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2564	109	91	102	104	99	104	96	72
2/4/2564	164	111	94	96	80	117	108	74
3/4/2564	259	99	66	69	50	192	76	66
4/4/2564	156	76	53	59	42	190	63	48
5/4/2564	54	76	34	64	37	91	41	57
6/4/2564	12	n/a	11	15	15	17	13	11
7/4/2564	10	12	14	10	12	17	11	13
8/4/2564	15	14	16	14	15	24	17	18
9/4/2564	23	24	21	22	19	31	18	21
10/4/2564	22	20	27	17	18	37	15	27
11/4/2564	19	12	26	23	24	30	19	22
12/4/2564	22	16	27	29	28	42	23	15
13/4/2564	18	18	25	26	28	40	19	17
14/4/2564	18	22	22	16	22	66	22	19
15/4/2564	23	24	21	20	18	49	18	19
16/4/2564	28	31	24	23	23	79	24	25
17/4/2564	28	17	18	16	15	24	14	13
18/4/2564	20	5	11	11	11	18	10	4
19/4/2564	14	14	15	13	9	18	8	14
20/4/2564	21	22	22	16	16	27	14	18
21/4/2564	26	32	28	23	24	42	22	28
22/4/2564	37	41	31	31	29	50	37	43
23/4/2564	48	51	44	41	41	45	48	52
24/4/2564	53	53	58	47	45	43	58	45
25/4/2564	30	35	54	41	48	41	45	29
26/4/2564	n/a	25	27	20	31	26	20	20
27/4/2564	15	17	18	19	19	16	19	14
28/4/2564	12	11	13	14	13	8	11	8
29/4/2564	10	8	11	9	9	8	8	7
30/4/2564	12	7	15	9	8	9	7	4

ตาราง 16: ตารางแสดงข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนเมษายนของปี 2564

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2565	23	24	56	66	75	27	42	41
2/2/2565	n/a	19	44	40	34	30	32	32
3/2/2565	n/a	15	41	23	38	37	35	35
4/2/2565	23	22	34	33	47	37	42	38
5/2/2565	30	19	25	30	22	28	20	19
6/2/2565	16	16	21	16	17	17	19	18
7/2/2565	16	12	26	19	24	17	22	16
8/2/2565	14	16	27	24	21	18	21	24
9/2/2565	20	17	35	28	28	17	33	31
10/2/2565	22	18	46	23	39	20	37	32
11/2/2565	27	22	55	29	45	26	47	42
12/2/2565	35	25	61	36	29	31	44	41
13/2/2565	31	30	67	41	36	35	38	40
14/2/2565	35	32	51	36	46	39	75	81
15/2/2565	38	32	43	39	36	36	55	43
16/2/2565	31	20	29	27	23	42	25	26
17/2/2565	22	20	25	24	23	60	21	24
18/2/2565	18	18	27	24	20	23	21	25
19/2/2565	11	12	17	13	14	13	10	12
20/2/2565	15	13	12	13	11	17	13	14
21/2/2565	9	21	11	13	11	31	18	23
22/2/2565	18	27	20	21	19	35	22	26
23/2/2565	20	26	27	28	28	43	29	31
24/2/2565	14	27	29	15	29	41	30	32
25/2/2565	21	28	34	23	34	46	37	34
26/2/2565	29	35	35	31	40	56	42	45
27/2/2565	36	41	39	41	46	81	50	49
28/2/2565	42	48	45	61	50	101	55	54

ตาราง 17: ตารางแสดงข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2565	46	49	50	53	59	92	68	58
2/3/2565	45	49	59	51	64	112	67	62
3/3/2565	52	51	62	58	60	108	61	53
4/3/2565	55	56	54	58	52	100	59	63
5/3/2565	57	48	54	55	52	94	48	49
6/3/2565	52	38	53	49	51	87	48	46
7/3/2565	44	41	45	41	37	107	46	59
8/3/2565	25	21	20	22	19	63	12	21
9/3/2565	29	26	24	31	31	47	23	28
10/3/2565	35	32	36	37	40	63	32	34
11/3/2565	41	32	47	39	51	56	37	31
12/3/2565	40	34	50	39	52	66	43	32
13/3/2565	44	37	50	48	57	81	50	38
14/3/2565	46	39	60	54	59	101	56	38
15/3/2565	47	30	43	48	55	108	47	30
16/3/2565	33	38	30	38	46	104	46	40
17/3/2565	40	42	28	38	34	135	40	43
18/3/2565	39	48	28	31	25	156	38	47
19/3/2565	44	39	30	32	25	95	40	36
20/3/2565	42	32	35	36	46	99	38	35
21/3/2565	31	19	27	29	18	45	24	20
22/3/2565	18	12	13	14	15	27	19	14
23/3/2565	16	9	14	12	20	10	13	10
24/3/2565	19	16	16	14	19	20	19	17
25/3/2565	30	26	25	29	33	40	30	29
26/3/2565	40	34	37	41	40	61	34	37
27/3/2565	42	45	42	48	48	100	39	44
28/3/2565	43	51	32	38	42	124	41	43
29/3/2565	28	42	20	27	25	79	25	29
30/3/2565	40	41	29	38	31	94	24	41
31/3/2565	39	46	32	35	32	115	32	42

ตาราง 18: ตารางแสดงข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนมีนาคมของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2565	28	39	22	31	32	111	28	38
2/4/2565	8	13	17	11	12	80	12	13
3/4/2565	8	7	19	10	12	18	9	9
4/4/2565	20	15	32	19	35	49	22	18
5/4/2565	25	28	34	27	51	85	35	31
6/4/2565	38	39	41	40	64	105	35	41
7/4/2565	45	43	121	60	81	47	50	42
8/4/2565	47	59	119	73	84	45	61	54
9/4/2565	52	64	98	74	102	39	76	54
10/4/2565	34	42	83	56	87	53	72	42
11/4/2565	39	44	77	56	74	77	58	44
12/4/2565	52	48	65	49	40	73	48	42
13/4/2565	58	62	60	42	55	78	72	55
14/4/2565	61	72	61	71	70	77	76	57
15/4/2565	62	52	58	62	55	46	62	47
16/4/2565	46	65	55	55	48	44	55	44
17/4/2565	33	60	49	37	52	30	64	45
18/4/2565	18	42	19	17	22	31	34	26
19/4/2565	14	16	13	12	16	28	21	12
20/4/2565	n/a	21	18	15	16	24	20	15
21/4/2565	13	18	16	16	19	24	23	18
22/4/2565	19	30	25	22	24	27	27	23
23/4/2565	28	35	33	27	29	30	34	26
24/4/2565	31	38	41	34	31	33	36	28
25/4/2565	37	39	45	35	33	39	40	31
26/4/2565	41	42	52	39	35	39	42	33
27/4/2565	55	39	59	44	39	40	46	34
28/4/2565	58	51	57	45	42	50	50	37
29/4/2565	64	27	42	34	24	43	25	25
30/4/2565	55	30	36	33	25	36	27	21

ตาราง 19: ตารางแสดงข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนเมษายนของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2566	69	66	74	N/A	74	41	87	N/A
2/2/2566	78	69	81	78	64	47	80	N/A
3/2/2566	77	75	80	76	68	42	82	N/A
4/2/2566	67	76	63	74	65	41	68	N/A
5/2/2566	52	58	60	53	39	34	52	N/A
6/2/2566	32	30	61	37	33	30	40	N/A
7/2/2566	37	27	51	39	31	31	39	39
8/2/2566	53	34	60	56	30	37	65	50
9/2/2566	72	51	69	82	76	39	106	82
10/2/2566	71	42	74	70	74	54	108	67
11/2/2566	81	44	87	93	68	64	113	66
12/2/2566	85	49	95	129	68	78	125	84
13/2/2566	83	59	132	164	90	69	158	101
14/2/2566	95	78	129	150	95	57	211	133
15/2/2566	96	116	95	127	97	70	153	124
16/2/2566	45	49	68	49	41	68	42	50
17/2/2566	19	16	57	24	40	13	23	15
18/2/2566	17	15	36	22	36	9	19	16
19/2/2566	20	19	45	21	59	15	27	21
20/2/2566	37	47	66	43	77	21	57	43
21/2/2566	53	64	73	82	75	27	67	55
22/2/2566	52	55	77	80	95	28	74	61
23/2/2566	52	54	85	76	82	34	72	67
24/2/2566	50	39	80	67	92	36	88	59
25/2/2566	49	58	65	70	75	48	92	75
26/2/2566	26	57	68	58	61	59	59	63
27/2/2566	38	54	95	54	86	66	96	80
28/2/2566	56	68	108	78	132	75	143	104

ตาราง 20: ตารางแสดงข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2566

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2566	75	85	125	100	141	78	155	115
2/3/2566	88	83	118	97	140	79	150	117
3/3/2566	90	93	105	125	106	92	138	123
4/3/2566	89	90	107	108	100	97	132	111
5/3/2566	79	81	102	90	84	103	119	99
6/3/2566	79	72	94	94	85	104	100	90
7/3/2566	74	76	96	89	80	91	84	85
8/3/2566	79	81	102	90	82	91	90	86
9/3/2566	86	75	111	100	92	111	97	96
10/3/2566	90	90	111	102	88	118	101	94
11/3/2566	96	91	106	106	82	142	99	103
12/3/2566	109	100	111	111	87	216	103	107
13/3/2566	51	53	79	55	63	134	64	55
14/3/2566	44	43	59	46	45	53	49	47
15/3/2566	35	41	60	46	44	59	48	45
16/3/2566	34	38	68	44	50	62	53	43
17/3/2566	38	35	76	45	56	60	41	34
18/3/2566	44	47	74	52	53	98	51	41
19/3/2566	48	47	60	45	43	116	34	40
20/3/2566	41	35	66	39	44	104	32	32
21/3/2566	42	52	75	45	59	148	39	46
22/3/2566	52	68	78	58	53	137	42	61
23/3/2566	67	73	79	73	57	144	51	60
24/3/2566	117	72	106	104	71	255	62	56
25/3/2566	185	94	135	162	90	309	129	91
26/3/2566	221	109	193	158	125	244	119	98
27/3/2566	374	101	177	163	112	237	99	89
28/3/2566	206	94	133	152	91	209	121	97
29/3/2566	234	149	92	N/A	53	263	94	101
30/3/2566	246	140	112	N/A	60	321	103	100
31/3/2566	269	173	152	203	78	256	148	124

ตาราง 21: ตารางแสดงข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนมีนาคมของปี 2566

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2566	238	213	155	192	123	233	148	143
2/4/2566	150	137	91	95	66	144	86	96
3/4/2566	120	86	91	106	62	109	64	66
4/4/2566	116	98	113	116	88	147	92	72
5/4/2566	131	143	183	178	149	176	172	115
6/4/2566	206	210	220	241	150	204	185	161
7/4/2566	229	236	214	242	124	203	182	171
8/4/2566	209	160	126	125	82	147	113	103
9/4/2566	139	143	91	87	53	117	80	101
10/4/2566	127	109	83	79	63	108	72	78
11/4/2566	149	135	97	109	69	124	96	87
12/4/2566	158	154	128	126	89	119	133	115
13/4/2566	169	145	130	142	85	104	130	106
14/4/2566	148	92	105	118	71	106	100	77
15/4/2566	169	130	117	139	80	166	122	103
16/4/2566	194	130	114	137	84	214	119	94
17/4/2566	132	83	92	94	81	138	82	62
18/4/2566	120	98	95	88	78	61	89	69
19/4/2566	118	92	97	96	71	59	91	70
20/4/2566	118	82	102	83	77	56	93	69
21/4/2566	69	78	78	72	72	53	91	66
22/4/2566	40	75	73	52	52	50	60	62
23/4/2566	35	39	75	45	53	38	55	38
24/4/2566	45	41	60	42	36	34	37	36
25/4/2566	45	40	62	51	43	34	61	40
26/4/2566	37	50	60	41	36	49	48	45
27/4/2566	34	40	53	35	29	39	30	35
28/4/2566	42	40	52	40	33	36	38	35
29/4/2566	52	49	61	45	46	50	44	40
30/4/2566	45	48	49	32	25	49	34	37

ตาราง 22: ตารางแสดงข้อมูลของความเข้มข้นของ PM2.5 เดือนเมษายนของปี 2566

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2564	71	66.5	65.13	63.25	64.88	67.75	58.25	66.75
2/2/2564	68.38	61.88	67.63	65.38	65.88	64.75	61.38	62.38
3/2/2564	64.38	58.63	66.38	63	68.38	63.25	62	59.88
4/2/2564	68.38	58.5	63.5	64.88	66.38	62.25	57.25	60.75
5/2/2564	70.63	59.75	67.63	65.63	66.63	62.75	59.25	59.88
6/2/2564	70.75	60.13	67	65.13	66.88	65.88	60.5	59.5
7/2/2564	72.13	57.75	67.25	63.38	65.25	75.38	58.25	65.88
8/2/2564	92	71.63	79.88	90.25	81.63	82	69	87.75
9/2/2564	75.25	61.63	74.25	79.25	71.75	69.25	67.75	72.25
10/2/2564	71.75	61.25	68.63	72.63	68.25	65.88	64	67.63
11/2/2564	69.63	58.25	68	72.88	64.88	66.5	62.5	65.13
12/2/2564	72.25	59.63	68.13	71.5	66.88	65.13	57.13	65.63
13/2/2564	71.75	57	69.38	67.38	66.25	63.75	59	64
14/2/2564	71.88	56.25	69.5	65	65.63	61.5	60.38	63.63
15/2/2564	72.13	56.25	68.13	66.38	67.13	63.38	61.88	61.38
16/2/2564	70	54.88	69.63	64.25	67.5	64.13	63.13	62.63
17/2/2564	69.75	55.88	68.25	64.38	68.13	64.63	62.75	61.5
18/2/2564	72.63	58.63	64.5	56	60.75	74	61.88	60.13
19/2/2564	73.13	57.5	65.63	64.63	58.5	71.63	58.13	63.13
20/2/2564	71.5	58.25	65.13	72.63	63.38	66.5	58.63	64
21/2/2564	76	57.38	65.5	68.38	65	66.25	59.38	62.13
22/2/2564	72.13	53.25	67.63	68.88	64.63	62.88	55.5	60.25
23/2/2564	67.13	57.25	67.13	71.13	62.75	62.75	54.63	61.38
24/2/2564	71	55.88	63.13	62.5	62.5	63.13	58.63	57.38
25/2/2564	60.5	50.75	62.5	52.88	60.63	56.5	52	49
26/2/2564	60.25	48	60	51.5	55.38	56.5	47.75	50.63
27/2/2564	66.38	44.5	59.88	56.5	55.88	57.25	49.5	51.13
28/2/2564	66.13	50	59.25	54.75	54.75	60.5	50.25	52.63

ตาราง 23: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2564

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2564	64.25	46	61	53.13	58.63	56.63	48.88	51.63
2/3/2564	66.38	47.38	62.25	57.88	59.13	55	49.25	53
3/3/2564	69.88	50.5	75.13	64	61.63	58.5	54.88	54.75
4/3/2564	70.5	51.13	74.75	60.38	69.38	54.38	58	55.63
5/3/2564	53.63	49.13	66.25	50.38	64.88	47.88	51.25	55.63
6/3/2564	59.5	39.25	59.63	49.38	58.63	54.25	46.13	47.63
7/3/2564	64.5	41.38	56.13	57	59.5	60.75	45	49.5
8/3/2564	67.13	44.88	60.13	61.75	61.13	59.75	52	44.63
9/3/2564	70.75	44.63	66.13	57.75	61.25	53.75	52	48.5
10/3/2564	69.38	49.25	69.75	58.25	62.25	60.63	54.75	54.13
11/3/2564	70.38	53.5	71.13	66.13	64.63	63.75	53.5	59.88
12/3/2564	73.88	56.75	69.75	71	63.63	65.5	55.25	60.75
13/3/2564	66.25	54.88	69.5	63	64.75	57.88	53.63	59.63
14/3/2564	70.5	54.75	68.13	60.88	66.38	54.13	58.5	58.88
15/3/2564	68.75	56.88	65	56.13	65.88	52.63	58.75	59
16/3/2564	66.25	48.88	64.63	53.13	64.5	50.88	52	52.38
17/3/2564	64.63	46.88	63.5	52.13	63.5	50.38	50.88	52.88
18/3/2564	67.25	48.5	64.13	53.13	63.63	52	53.25	53.75
19/3/2564	67.38	47.25	63	55.25	63	51.75	50.75	52.5
20/3/2564	65.13	47.63	62	52.88	58.63	51.38	46.75	52.63
21/3/2564	60.88	45.38	60	50.75	55.75	47.38	50.38	50.13
22/3/2564	66.88	57.63	56.5	52.38	52.75	49.25	53.63	54.5
23/3/2564	69.38	62.25	61.13	54.75	52.5	55.88	55.13	61.13
24/3/2564	68.25	56.25	60.25	58.63	54.25	56.5	52.5	58.63
25/3/2564	67.13	54.38	66	53.38	55	52.13	48.75	54.75
26/3/2564	63.25	52.63	63.5	50.13	55.88	56.13	54.63	56.13
27/3/2564	66.63	56.13	65	53.63	59	51.63	60.25	57.13
28/3/2564	64.88	55.75	61.13	51.13	57.75	52	54.88	55.88
29/3/2564	58.38	51.75	60.5	47.13	56	44.75	46.25	50.38
30/3/2564	57.25	45.13	64.13	50.38	60.63	44.75	51.38	48.63
31/3/2564	55.75	49	59.63	46.13	55.38	48.38	45.25	50.5

ตาราง 24: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนมีนาคมของปี 2564

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2564	56.88	45.75	57.88	45.63	54.5	43.75	44.63	48.75
2/4/2564	58.63	45.75	65.38	47.38	61.75	42.75	51.25	51
3/4/2564	62.75	53.88	68	64.38	54.5	58.5	50	66
4/4/2564	87.88	81.38	92.25	91.5	88.38	67.13	73	88.5
5/4/2564	85.63	76.5	91.63	93	91.13	78.38	87.75	85.25
6/4/2564	91.63	82.88	93	91.38	86.88	89.63	83.75	88.38
7/4/2564	76.75	66.63	77	78.63	70.88	71	72.13	70.25
8/4/2564	73.25	62.38	76.13	75.38	67.88	62	63.63	67
9/4/2564	73.25	60.5	75.88	68.88	71.13	56.63	63.75	64.38
10/4/2564	68.13	61	73	64.63	80.88	63.63	65.75	66.63
11/4/2564	63.88	72.13	76	63.75	76.63	64	72.5	75
12/4/2564	69	70.25	75	66	72.38	56	66.38	76
13/4/2564	58.38	64.75	75.13	71.38	71.13	58.25	64.88	71.5
14/4/2564	75.88	65.75	72.88	70.25	75.88	59.88	67.38	74.63
15/4/2564	68.38	63.63	76.25	71.13	76.25	60.13	71.25	69.63
16/4/2564	73.38	66.38	77.13	72.25	73.88	70.75	70.75	69
17/4/2564	79	76.75	81.5	79.5	83.13	78.63	80.38	81.75
18/4/2564	81.5	74.25	88.75	78.13	85.63	66.25	80.88	79.38
19/4/2564	76.5	67.75	79.63	70.25	75.25	59.63	71.5	70.38
20/4/2564	72.13	60.75	73	70.13	73	60.13	66	68.13
21/4/2564	68.13	60.75	75.25	70.13	70.75	51.75	63.75	65.38
22/4/2564	64.88	58	73.88	62.5	70.88	53.25	63.5	63.5
23/4/2564	63.63	59.88	73.63	60.75	71.63	56.38	64	63.38
24/4/2564	58.5	59	72.63	61.75	70.63	53.88	62.63	61.38
25/4/2564	74.13	65.75	70.13	71	72.63	62.38	61.25	64.5
26/4/2564	70.13	66	73.25	74.63	71	76.13	75.5	72
27/4/2564	81	71	72.25	76.25	75.75	79.25	78.13	77.38
28/4/2564	79.88	81.88	80.38	86	91	76	87.38	92
29/4/2564	79.75	73.5	77.75	80.5	91.13	72.75	85.13	78.5
30/4/2564	81	67.75	82.13	84.75	88.63	76.38	83.75	71.5

ตาราง 25: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนเมษายนของปี 2564

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2565	64.25	51.88	65	59.25	68.13	61.38	65.25	55.38
2/2/2565	64.88	50.63	66	63.38	66.38	59.63	59.75	53.13
3/2/2565	66.13	53.13	67.88	55.63	66.25	59.63	61	60
4/2/2565	71.88	62.5	73.88	67.63	69.13	64.25	68.25	68.25
5/2/2565	79	80.25	86.63	76.38	91.63	79.13	85	91.38
6/2/2565	79.13	76.63	74	73.88	75.5	75	76.38	77.75
7/2/2565	78.5	61.75	66.25	65.88	71.75	69.13	68.75	66.13
8/2/2565	71.38	58.88	60.63	62.88	63.63	65.63	59.75	65.63
9/2/2565	68.88	57.75	61.25	56.75	63.63	63.88	60.63	60.38
10/2/2565	65.63	54.5	62.13	61.5	62.63	60.38	65.88	59.38
11/2/2565	67.13	55.63	65.13	67.75	69.75	61.63	60.88	61
12/2/2565	71	54	64	63.13	66.63	62.63	62.88	59.13
13/2/2565	64.25	49	63.25	60.5	66.13	57.13	60.75	57
14/2/2565	65.75	55	63.5	65.63	64.75	60.88	58.5	62.38
15/2/2565	69.13	62	71	71.5	81.38	59.5	73.5	67.75
16/2/2565	71.63	64.75	74.25	70.13	78	63.63	74.75	72.75
17/2/2565	69.25	72.88	71.75	70.88	79	68.63	76.25	75.88
18/2/2565	74.88	69	74.63	74.75	74	69.75	74.5	72.63
19/2/2565	84.88	86.63	80.88	90.63	80.13	80.75	85.5	86.13
20/2/2565	74.13	67.63	82.75	78.5	85	59.88	76	69.25
21/2/2565	77	57.63	73.5	69.13	68.13	62.38	72.25	71.13
22/2/2565	72.25	65.13	66.38	64.25	68.38	57.38	70.88	71.25
23/2/2565	74.38	62.13	67.25	64.63	69.88	59.38	68.88	68.63
24/2/2565	69.38	62.5	69.88	71.88	65.88	58.25	67	66
25/2/2565	69.5	62.25	70.38	77.63	65.75	57.88	66.88	64
26/2/2565	68.88	61	67.88	71.38	64.25	60.25	65.13	63.63
27/2/2565	69.75	60.75	64.88	68	64.13	59.5	59.63	61.88
28/2/2565	67.25	55	65.88	64.5	61.88	55.75	56.25	63.88

ตาราง 26: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2565	66.88	53.5	64.88	69.5	60	52.63	56.5	56
2/3/2565	68.38	55.13	64.88	70.13	62.75	56.88	60.63	57.63
3/3/2565	72.75	56.38	66	70.38	66.63	58.13	61.5	59
4/3/2565	68.75	56.25	66.38	65.63	65.63	60	64.88	60.13
5/3/2565	67.88	54.38	64.38	66.63	63.63	58	61.88	57.75
6/3/2565	66.5	52.25	64.25	59.75	66.13	53.5	59.88	56
7/3/2565	69.75	58.13	74.88	73.88	73.25	56.63	60.88	61.25
8/3/2565	76.63	73.25	77.25	73	73.25	58.5	68.13	80.5
9/3/2565	73.88	66.5	72.5	73.13	69.75	64.25	62.75	71.38
10/3/2565	69.63	62.75	70.63	64.63	69.5	58.88	61.5	68.63
11/3/2565	67.25	60.88	69.38	59.25	66.38	56.63	58.63	64
12/3/2565	64.75	66.13	67.63	61.38	66	55.63	58.5	65.38
13/3/2565	70.75	61.88	67.63	64.88	66.75	56	59.5	63.88
14/3/2565	69.75	56.88	71.63	59.63	68.5	55.25	59.5	64.25
15/3/2565	70.5	61.88	73.5	67.88	67.25	53.5	57.5	65.5
16/3/2565	72.75	57.88	82.25	72	65.88	51.75	54.75	62.38
17/3/2565	70.88	52.38	77	67.63	62.13	52	55.13	60.5
18/3/2565	70.63	53.38	85.25	76.63	69.75	66.75	58.5	56.75
19/3/2565	73.25	58.38	78.25	65.38	66.5	63.13	63.25	66.75
20/3/2565	68	59.38	72.63	66.25	67.88	57.88	66.13	71.63
21/3/2565	71.75	64.25	69.88	78	67.88	66.13	66.88	74.63
22/3/2565	70.5	67.25	72.5	71.75	69	78.63	63.63	75.75
23/3/2565	79.5	75.38	79.5	79.75	74.38	72.13	79	79.25
24/3/2565	72.38	61.25	75	66.63	68.38	54.25	69.25	67.13
25/3/2565	67.25	59.63	68.13	59.13	60.88	54.38	60.5	61.88
26/3/2565	66.38	56.63	69.25	55.13	59	53.5	59.63	60
27/3/2565	69.13	55.63	67.38	62.75	64.5	52	57.25	60.38
28/3/2565	68.63	58.88	65.75	73.38	64.75	54	66	67.88
29/3/2565	79.38	62.5	81.38	81.88	68.13	56.63	67.88	65.5
30/3/2565	77.13	61.88	83.13	78.38	70.38	56.63	63.25	65.88
31/3/2565	74.13	57.13	75.25	75.38	67.38	53.5	62	68.5

ตาราง 27: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนมีนาคมของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2565	72	61.63	69.13	72	68.25	52.5	62.38	61.5
2/4/2565	80.25	81.38	77.25	88.13	74.88	60.63	73.38	84.38
3/4/2565	59.88	55.88	60.38	66.63	61	49.13	56.13	64.25
4/4/2565	67.63	59.75	64.13	68.63	57.5	53.75	55	61.25
5/4/2565	64.13	56.75	66.13	65.63	57.25	53.75	56.13	64.25
6/4/2565	77.38	63.88	69.25	76.38	59.5	71.75	57.63	65.88
7/4/2565	68.88	83.38	71	75.5	70.13	72.75	72.5	85.25
8/4/2565	66.13	76.63	72.25	72.25	70.13	67.13	68.25	80.88
9/4/2565	71.13	68.13	70.75	69.88	62.75	68.38	61.63	71
10/4/2565	74.75	63.75	81.25	80.38	67.25	61.13	59	67.63
11/4/2565	68.5	63.75	78.5	74	66.63	55.63	56.63	64.75
12/4/2565	64.13	60.88	72.5	66.75	64.5	54.75	59.25	60.88
13/4/2565	63.25	58.63	71	74.63	65.25	54.75	50.63	59.63
14/4/2565	66.88	60.75	68.5	64.88	61.13	54.63	46.88	59.5
15/4/2565	64	59.25	66.63	57.25	57.5	53.38	54.88	58.5
16/4/2565	68.5	58.25	67.25	63.38	55.13	59	50.75	59.5
17/4/2565	70.75	56.38	68.88	66.63	57.75	69.25	56.13	63.38
18/4/2565	81	63.25	79.25	88.13	67.38	55.5	63	75.63
19/4/2565	74.38	76.63	73.5	82.63	72.75	68	67.25	81.5
20/4/2565	77.63	69.38	73.88	81	79.75	73.38	78.75	75.38
21/4/2565	78	73.13	78.63	79.13	75.25	69.75	78.5	73.75
22/4/2565	73.38	70.63	78.13	80.13	72	61.5	67.38	68.5
23/4/2565	70.75	62.75	75.25	69.5	68.63	59.75	58.63	65
24/4/2565	73.88	59.63	75.25	66	65.63	60	60.13	61.38
25/4/2565	68.5	59.88	75	77.88	61.88	63.5	55.5	59.38
26/4/2565	67.5	59.25	75.13	73.75	66.5	59.5	58.63	60.63
27/4/2565	66.5	62	73.38	71	67.13	66	60.13	61.38
28/4/2565	68.63	58.75	72.38	72.88	63.38	61.75	61	60.63
29/4/2565	73.38	65	67.88	71	61.75	67.38	58.75	62.38
30/4/2565	83.13	67.75	72	76.88	70.38	77.25	66.75	63.25

ตาราง 28: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนเมษายนของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2566	71.13	67.13	72.38	68	67.25	70.75	73.25	70.38
2/2/2566	70.88	66	72	73	65.75	70.88	70.63	70.63
3/2/2566	70.38	63.63	77.63	67.63	65.63	69	68.38	60.63
4/2/2566	69.75	61.25	72.25	63.38	69	66.75	72	65.5
5/2/2566	68.25	64.88	72.75	66.38	72.38	65.13	74.88	65.13
6/2/2566	62.75	58.13	68	62	66.13	59	69.5	57.63
7/2/2566	50.5	51.13	62.5	54.38	61.88	56.75	63.88	48.88
8/2/2566	55.75	50.25	61.63	55	57.38	56.25	58.63	55.5
9/2/2566	61.5	55	63.75	62.5	65.13	58.13	63.75	58.88
10/2/2566	61.88	52.88	64	58.38	63.5	59.25	63.38	53.38
11/2/2566	57.88	53.5	62.63	54.63	62.63	62.38	61.25	54.75
12/2/2566	63.25	53	59.88	61.25	57	60.5	63.38	57
13/2/2566	62.88	55	66.5	60	60.38	60.13	63	56
14/2/2566	61.63	53.5	65.63	62.88	60.75	56.13	61.88	58.38
15/2/2566	69.63	56.5	66.38	67.25	68.38	56.5	67.63	61.38
16/2/2566	74.63	70	61.13	74.75	64.38	65.38	70.38	67
17/2/2566	80.88	77.75	64.75	91	63.88	89.63	85.75	83.25
18/2/2566	75.75	65.38	65.88	81.25	65.63	75.38	72.25	70.63
19/2/2566	67.88	59.38	65.63	72.88	62	66.38	69.38	65.25
20/2/2566	68.63	62.63	62.5	72.63	60.5	64.88	67.13	66.13
21/2/2566	70.75	61.75	65.13	65	61.88	64	67.75	61.13
22/2/2566	70.25	60.13	64.38	59.5	62.5	63.5	66	60.88
23/2/2566	70	58.13	67.38	60.5	62.13	64.5	66.25	58.88
24/2/2566	65	53.63	65	68.25	62	61.38	62.13	61.13
25/2/2566	65.75	56.88	64	65.63	58.25	63.88	64.25	59.88
26/2/2566	62.13	57.25	61	63.63	52.63	60.75	52.75	55.38
27/2/2566	63.75	58.38	60.38	68.38	51	63.88	58.38	59
28/2/2566	67.75	58	65	68.13	58.5	63.38	64.38	59.75

ตาราง 29: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2566

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2566	66.88	57.25	65.25	68.38	57.63	63	65.75	60.63
2/3/2566	68.63	57.13	62.88	64.75	57.38	61.75	64.5	59.5
3/3/2566	69.38	55.5	63.25	54.75	58.38	63.25	62.13	57.5
4/3/2566	69.88	56.75	64	61.63	59.63	58.25	62.63	57.88
5/3/2566	69	56.75	66.88	64.38	62.13	58.63	65.38	60.13
6/3/2566	70.75	59.13	66.38	61.38	60.63	61.88	64.38	60.63
7/3/2566	68.63	55.88	66.13	55.75	60.38	60.88	62.88	58.13
8/3/2566	67.63	57.5	65.38	59.75	57.38	59.5	60.38	57.38
9/3/2566	67.75	57.38	65.63	66.25	61.13	61.5	61.38	58.25
10/3/2566	69.63	57.88	66.38	55.63	61.38	59.88	63.38	57.38
11/3/2566	70.75	63	69	68.88	63.25	58.38	66.5	65.13
12/3/2566	72.13	65.13	72.5	72.25	63.38	66	67.25	67.38
13/3/2566	74.5	80.88	85.38	83	85.5	74.75	85.13	87.25
14/3/2566	69.63	71.63	74.75	72.88	70.5	66.88	75.88	75.75
15/3/2566	65.25	63	68.63	67	64.63	63.38	67	67
16/3/2566	66.5	64.25	68	70.63	62.38	68.5	67.88	65.25
17/3/2566	67.63	68.63	67.25	69.38	63.25	60.25	73	71.38
18/3/2566	67.5	68.13	66.75	68.25	62.5	57.75	71	64.75
19/3/2566	67.5	66.25	63.25	57.75	65	59.88	74.25	68.88
20/3/2566	64.75	65.38	60.63	57.38	56.88	57	66	67.25
21/3/2566	70.13	62.38	58.13	57.25	54.63	61.13	64.88	62.5
22/3/2566	60	54.88	57.13	51.75	52.75	52.5	56.75	56
23/3/2566	54.75	52.63	56	46.25	52.13	49.25	52.38	48.63
24/3/2566	58.75	53	56	48.38	48.75	48.5	53	50.63
25/3/2566	62	54.25	59.25	58.25	49.63	53.75	55.63	54.13
26/3/2566	62	55.13	62.88	59	53.38	53.88	57.88	54.38
27/3/2566	64.5	54	58.38	60.5	55.13	52.13	56.25	54.38
28/3/2566	54	46.13	58.25	49	54.5	45.63	58	46.25
29/3/2566	52.5	45	59.63	45.5	54.13	41.63	55	46.5
30/3/2566	63.13	51.5	62.88	55.75	55.5	44.38	55.25	48.25
31/3/2566	60.25	56.25	67.5	61.88	56.38	49.25	57.75	52.5

ตาราง 30: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนมีนาคมของปี 2566

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2566	61.75	57.25	64.38	58.88	58.13	52.13	60.63	52.63
2/4/2566	49.25	48	57.75	46.5	54.25	43.25	53.5	47.63
3/4/2566	48.38	49.63	53.25	41.75	46.63	42.75	47.25	48.38
4/4/2566	54.38	49.63	54.5	47.63	45.38	44.75	51.5	46.13
5/4/2566	54	50.38	58.63	53	50.75	44.38	56.13	50.25
6/4/2566	57.25	55	60.75	58	54.13	44.63	59.13	54.13
7/4/2566	58.38	53.88	57.63	60.75	54.13	48.75	57.25	50.5
8/4/2566	62.25	53.25	56.88	55.13	53.75	48.88	60.75	50.38
9/4/2566	56.5	54.25	60.25	48	53.13	42.75	60.38	51.25
10/4/2566	58	54	55.5	48	56.13	41.75	59	50.63
11/4/2566	57.13	53	55	50.38	56.5	44.25	55.5	49.38
12/4/2566	53.63	51.75	60.38	56.25	54.88	46	59.5	51.38
13/4/2566	57.13	53.38	58.38	54	53.63	45.88	57.75	51.75
14/4/2566	58.88	47	53.75	48.13	49.63	46.5	52.5	51.63
15/4/2566	56.25	45.75	54.88	49.25	49.88	46	50.63	48.88
16/4/2566	58.88	51.38	54.63	51	56.13	46	50.5	47.75
17/4/2566	59.75	47.13	53.88	52.75	56	45.88	51	52
18/4/2566	58.88	48.25	53.25	45.63	57.25	47	50.13	52.13
19/4/2566	54.5	50.75	54	41.88	54	46.63	50.25	48.63
20/4/2566	61.38	52.5	51.88	45.88	53.88	49.13	50.13	54.25
21/4/2566	64.75	53.63	61.5	50	53.13	50.13	52.13	54.75
22/4/2566	65.88	47.88	64.13	59.5	58.63	57.13	49.38	53.25
23/4/2566	62.5	51.5	56.38	53.63	49.75	56.88	51.88	57.5
24/4/2566	65.13	55.5	66.88	56.13	64.88	45.88	55.25	59.63
25/4/2566	64.5	49.75	60.88	56.13	57.13	45	53.5	52.88
26/4/2566	70	58.25	61.88	59.63	67	50	59.75	60
27/4/2566	68.25	57.88	58.88	65.5	62.63	57	59.25	62.25
28/4/2566	65.38	51.5	57.63	54.13	54.13	43.88	55.63	52.88
29/4/2566	58	47.25	62.38	48.63	52	42.88	55.5	47.25
30/4/2566	62.25	55.75	81.88	57.25	68	43.25	60.13	62.25

ตาราง 31: ตารางแสดงข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนเมษายนของปี 2566

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2564	0	6	2	0	0	5	8	2
2/2/2564	0	9	0	0	0	9	9	1
3/2/2564	0	1	1	0	1	0	6	1
4/2/2564	0	9	5	0	0	8	20	4
5/2/2564	0	0	0	0	0	2	1	0
6/2/2564	0	7	5	0	3	5	17	2
7/2/2564	0	4	1	0	0	0	0	0
8/2/2564	0	1	0	0	0	0	0	0
9/2/2564	0	1	0	0	0	3	0	0
10/2/2564	0	2	0	0	0	2	3	2
11/2/2564	0	3	1	0	0	8	0	5
12/2/2564	0	2	0	0	0	2	0	0
13/2/2564	0	15	1	0	0	26	7	12
14/2/2564	0	7	0	0	0	3	1	1
15/2/2564	2	44	0	0	1	31	13	16
16/2/2564	0	0	0	0	0	7	0	0
17/2/2564	1	8	2	0	1	16	4	1
18/2/2564	0	2	1	0	1	12	2	3
19/2/2564	0	0	0	0	0	1	1	0
20/2/2564	0	2	3	0	1	5	2	3
21/2/2564	0	5	1	0	2	6	3	0
22/2/2564	0	9	1	0	4	21	16	3
23/2/2564	0	0	0	0	0	3	1	0
24/2/2564	0	3	0	0	6	9	9	7
25/2/2564	0	8	0	0	1	14	4	2
26/2/2564	0	9	4	1	13	18	25	3
27/2/2564	0	23	4	4	8	15	20	5
28/2/2021	2	5	2	0	15	12	28	10

ตาราง 32: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2564

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2564	0	22	2	9	19	52	59	33
2/3/2564	0	6	1	5	5	13	5	11
3/3/2564	0	7	0	0	5	32	6	18
4/3/2564	0	4	0	0	0	28	1	3
5/3/2564	3	22	1	6	0	49	19	9
6/3/2564	1	20	0	0	6	69	12	17
7/3/2564	0	28	0	2	6	40	24	13
8/3/2564	3	75	2	2	1	73	29	23
9/3/2564	3	13	1	4	3	19	5	1
10/3/2564	1	30	1	1	2	44	7	5
11/3/2564	0	8	0	1	2	1	0	1
12/3/2564	1	5	1	0	1	15	2	1
13/3/2564	0	3	0	0	0	6	0	3
14/3/2564	0	0	1	0	2	12	1	0
15/3/2564	1	5	0	1	1	12	1	1
16/3/2564	2	4	2	1	4	5	1	1
17/3/2564	0	4	0	0	0	8	0	2
18/3/2564	0	12	1	1	0	10	1	0
19/3/2564	0	12	6	1	7	35	0	2
20/3/2564	2	8	1	0	1	5	1	2
21/3/2564	4	30	0	1	9	19	2	1
22/3/2564	0	8	1	1	1	24	2	0
23/3/2564	0	0	3	0	1	7	0	0
24/3/2564	0	24	6	3	1	10	3	2
25/3/2564	0	4	3	0	3	8	0	0
26/3/2564	0	5	8	4	11	21	4	5
27/3/2564	0	1	0	1	4	5	0	1
28/3/2564	3	3	3	0	2	8	2	1
29/3/2564	7	6	1	2	2	9	1	2
30/3/2564	3	9	0	0	4	8	1	0
31/3/2564	5	32	10	7	9	10	1	0

ตาราง 33: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนมีนาคมของปี 2564

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2564	9	48	12	10	4	19	6	0
2/4/2564	7	41	4	0	0	22	3	0
3/4/2564	0	5	2	0	0	1	1	0
4/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0
5/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0
6/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0
7/4/2564	0	0	1	0	0	0	1	0
8/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0
9/4/2564	0	0	0	0	0	3	1	0
10/4/2564	0	0	0	0	0	1	0	0
11/4/2564	1	1	0	0	0	4	0	0
12/4/2564	0	0	0	0	0	2	1	0
13/4/2564	0	0	1	1	0	15	1	0
14/4/2564	0	0	0	0	0	3	0	0
15/4/2564	0	0	0	0	0	23	0	0
16/4/2564	1	2	0	0	2	9	0	0
17/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0
18/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0
19/4/2564	0	1	0	0	0	0	0	0
20/4/2564	0	4	1	0	0	20	0	1
21/4/2564	0	1	0	0	0	25	0	0
22/4/2564	0	5	6	0	0	27	0	0
23/4/2564	2	12	11	0	3	16	0	0
24/4/2564	5	1	3	0	3	6	1	0
25/4/2564	2	3	5	0	3	15	0	0
26/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0
27/4/2564	0	0	0	0	0	1	0	0
28/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0
29/4/2564	1	0	0	0	0	0	0	0
30/4/2564	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง 34: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนเมษายนของปี 2564

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2565	10	2	3	0	0	0	0	0
2/2/2565	16	16	11	0	5	12	31	5
3/2/2565	2	0	0	0	0	0	0	0
4/2/2565	14	5	13	0	0	3	1	2
5/2/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
6/2/2565	0	1	0	0	0	0	0	0
7/2/2565	0	2	0	0	1	0	2	0
8/2/2565	0	0	1	0	0	0	2	0
9/2/2565	10	3	7	0	0	3	25	4
10/2/2565	2	0	1	0	0	1	0	0
11/2/2565	31	3	20	0	1	7	14	4
12/2/2565	10	4	3	0	0	3	0	0
13/2/2565	5	4	15	0	2	2	7	1
14/2/2565	8	16	9	0	2	9	6	3
15/2/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
16/2/2565	0	4	0	0	0	8	0	1
17/2/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
18/2/2565	0	0	0	0	0	0	0	1
19/2/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
20/2/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
21/2/2565	0	0	0	0	0	0	0	1
22/2/2565	0	0	0	0	0	2	0	0
23/2/2565	0	0	0	0	0	3	0	0
24/2/2565	0	1	0	0	0	0	0	0
25/2/2565	0	14	0	0	0	12	5	0
26/2/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
27/2/2565	0	6	0	0	1	4	16	0
28/2/2565	0	4	0	0	1	0	0	0

ตาราง 35: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2565	0	4	3	1	0	4	1	0
2/3/2565	0	4	3	0	1	7	2	0
3/3/2565	0	1	0	0	0	4	2	1
4/3/2565	0	2	4	0	3	16	0	0
5/3/2565	0	1	3	0	1	1	0	0
6/3/2565	0	22	4	0	2	22	11	2
7/3/2565	0	0	1	0	0	1	0	0
8/3/2565	0	0	0	0	0	3	0	0
9/3/2565	0	0	0	0	1	4	0	2
10/3/2565	0	0	0	0	0	1	0	0
11/3/2565	0	1	1	0	1	10	3	1
12/3/2565	0	0	1	0	0	3	1	0
13/3/2565	0	2	1	0	2	30	2	0
14/3/2565	0	0	0	2	1	1	0	0
15/3/2565	0	0	3	0	5	10	3	5
16/3/2565	0	1	0	0	0	2	0	1
17/3/2565	0	0	0	0	1	13	5	1
18/3/2565	0	6	0	0	1	18	2	1
19/3/2565	0	0	0	0	0	16	0	0
20/3/2565	0	3	0	0	1	33	0	1
21/3/2565	0	0	0	0	0	1	0	0
22/3/2565	0	0	0	0	2	0	0	0
23/3/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
24/3/2565	0	0	0	0	0	2	0	0
25/3/2565	0	0	0	0	0	4	4	1
26/3/2565	0	2	0	0	0	9	0	0
27/3/2565	0	12	2	1	6	15	1	1
28/3/2565	0	4	0	0	0	6	2	0
29/3/2565	0	21	0	0	0	44	2	0
30/3/2565	0	19	0	0	0	29	0	0
31/3/2565	0	8	0	0	0	10	1	0

ตาราง 36: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนมีนาคมของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2565	0	1	0	0	0	6	0	0
2/4/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
3/4/2565	0	0	0	0	0	1	0	0
4/4/2565	0	0	3	0	6	8	1	0
5/4/2565	0	1	2	0	8	14	0	0
6/4/2565	0	0	0	0	0	3	0	0
7/4/2565	0	0	1	0	0	0	0	0
8/4/2565	0	0	0	0	0	1	0	0
9/4/2565	0	0	0	0	3	0	0	0
10/4/2565	0	0	0	0	0	1	0	0
11/4/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
12/4/2565	0	2	0	0	0	3	0	0
13/4/2565	0	0	0	0	0	5	0	0
14/4/2565	0	3	0	0	1	0	1	0
15/4/2565	0	3	0	0	0	1	0	0
16/4/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
17/4/2565	4	6	1	0	2	6	0	3
18/4/2565	10	3	0	0	0	6	0	0
19/4/2565	1	1	1	0	0	8	0	0
20/4/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
21/4/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
22/4/2565	0	0	0	0	0	0	0	0
23/4/2565	1	1	2	0	0	2	0	0
24/4/2565	0	0	0	0	0	1	0	0
25/4/2565	5	0	3	0	0	4	0	0
26/4/2565	5	1	4	0	2	8	0	0
27/4/2565	2	0	3	0	0	1	0	0
28/4/2565	11	12	7	0	0	4	1	0
29/4/2565	0	0	0	0	0	1	0	0
30/4/2565	2	2	5	0	2	0	0	0

ตาราง 37: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนเมษายนของปี 2565

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/2/2566	5	3	1	0	0	2	1	0
2/2/2566	11	4	6	0	0	0	0	0
3/2/2566	12	9	9	0	0	5	4	0
4/2/2566	7	0	0	1	0	0	0	0
5/2/2566	8	1	9	1	0	5	6	4
6/2/2566	0	3	2	0	0	0	4	1
7/2/2566	46	25	38	5	6	18	26	11
8/2/2566	11	8	11	1	2	12	8	5
9/2/2566	13	11	13	2	0	6	2	7
10/2/2566	16	27	25	0	5	21	18	14
11/2/2566	5	5	31	1	2	4	4	2
12/2/2566	31	60	78	7	13	34	60	14
13/2/2566	6	12	27	2	0	6	9	3
14/2/2566	12	41	69	11	15	17	33	12
15/2/2566	0	22	13	4	3	23	8	1
16/2/2566	0	0	13	0	5	0	0	0
17/2/2566	0	0	0	0	0	0	0	0
18/2/2566	0	0	0	0	0	0	0	0
19/2/2566	0	2	9	0	4	0	8	2
20/2/2566	0	0	13	1	2	0	2	2
21/2/2566	0	0	6	0	5	0	7	4
22/2/2566	1	0	8	0	9	0	4	4
23/2/2566	3	2	6	2	3	0	0	0
24/2/2566	0	2	0	0	3	0	1	1
25/2/2566	0	0	0	0	0	1	0	2
26/2/2566	0	0	2	1	0	1	0	2
27/2/2566	1	2	9	2	12	1	7	1
28/2/2566	0	2	8	5	8	1	1	6

ตาราง 38: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนกุมภาพันธ์ของปี 2566

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/3/2566	0	1	9	1	4	0	2	4
2/3/2566	4	4	10	9	12	7	1	14
3/3/2566	0	5	1	3	0	14	6	11
4/3/2566	2	7	3	9	4	5	7	14
5/3/2566	0	12	11	9	0	16	4	2
6/3/2566	0	2	2	4	1	2	3	3
7/3/2566	1	20	10	11	5	14	5	1
8/3/2566	0	2	2	0	0	0	0	0
9/3/2566	0	2	10	5	0	5	0	0
10/3/2566	0	5	4	0	1	7	7	0
11/3/2566	0	1	3	4	2	3	2	0
12/3/2566	0	1	1	0	0	2	0	0
13/3/2566	0	0	0	0	0	0	0	0
14/3/2566	0	0	0	0	0	2	0	1
15/3/2566	0	0	1	0	0	0	0	0
16/3/2566	0	0	1	0	0	6	1	0
17/3/2566	0	0	2	0	0	9	0	0
18/3/2566	1	0	2	2	0	7	0	0
19/3/2566	1	7	2	1	1	28	1	0
20/3/2566	0	0	1	0	1	5	0	0
21/3/2566	3	0	9	0	10	6	1	0
22/3/2566	5	1	11	3	4	57	0	0
23/3/2566	28	25	48	30	30	73	10	6
24/3/2566	47	25	65	26	23	74	3	2
25/3/2566	28	19	47	14	26	15	8	0
26/3/2566	60	39	49	24	26	65	9	1
27/3/2566	19	9	34	13	13	7	6	0
28/3/2566	146	202	75	34	18	182	81	26
29/3/2566	132	50	47	14	15	74	17	3
30/3/2566	86	49	46	18	13	32	20	5
31/3/2566	37	25	29	9	13	29	8	1

ตาราง 39: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนมีนาคมของปี 2566

วันที่ / เดือน / ปี	57T	36T	67T	70T	69T	58T	37T	68T
1/4/2566	22	20	33	9	1	7	2	0
2/4/2566	40	49	24	16	5	58	10	1
3/4/2566	34	16	50	10	22	19	10	2
4/4/2566	57	62	127	29	27	58	48	1
5/4/2566	79	21	88	30	26	15	15	2
6/4/2566	61	15	79	12	11	9	6	1
7/4/2566	34	10	27	9	3	10	1	0
8/4/2566	28	2	26	1	1	2	0	0
9/4/2566	30	34	18	3	3	31	1	5
10/4/2566	71	20	18	8	13	16	5	2
11/4/2566	76	59	42	9	13	33	3	2
12/4/2566	49	13	35	14	1	4	1	1
13/4/2566	32	19	30	10	4	8	0	2
14/4/2566	44	27	11	7	1	4	12	3
15/4/2566	32	16	28	1	0	9	6	0
16/4/2566	68	29	3	5	11	9	13	5
17/4/2566	67	19	6	5	5	1	10	5
18/4/2566	79	26	19	12	3	6	12	4
19/4/2566	53	9	17	2	3	1	3	0
20/4/2566	24	7	16	2	1	5	3	0
21/4/2566	2	2	2	0	0	1	0	0
22/4/2566	1	0	1	0	10	0	2	0
23/4/2566	4	3	8	2	9	2	3	1
24/4/2566	12	4	1	0	0	1	2	0
25/4/2566	10	8	7	10	0	2	1	0
26/4/2566	1	3	1	2	0	1	0	0
27/4/2566	4	0	3	0	0	2	0	0
28/4/2566	12	3	4	0	0	0	2	0
29/4/2566	16	8	6	4	2	7	2	0
30/4/2566	7	2	0	0	0	1	1	0

ตาราง 40: ตารางแสดงข้อมูลของจำนวนจุดความร้อน เดือนเมษายนของปี 2566



APPLICATION OF REGRESSION KRIGING FOR SPATIAL INTERPOLATION OF PM2.5 CONCENTRATIONS IN UPPER NORTHERN THAILAND

AUTHOR: SUTHATHINEE CHAISUWAN 640510598
SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SOMPOP MOONCHAI

ABSTRACT

This independent study analyzes the correlation between auxiliary variables, such as relative humidity and the number of fire hotspots, and PM2.5 concentrations in upper northern Thailand from February to April 2021 to 2023 using Pearson Correlation and Spearman Rank Correlation. Additionally, it aims to estimate PM2.5 concentration values at unobserved locations using Regression Kriging. The study found that PM2.5 concentration is highly related to the number of hotspots in March and April for 2021 to 2023 but is less related to relative humidity. When applying regression kriging to estimate PM2.5 concentrations using fire hotspots as an auxiliary variable, the mean absolute percentage error (MAPE) ranges from 14 to 33. This outcome indicates a moderate level of predictive accuracy.

OBJECTIVES

- Analyze the correlation between data on variables, such as relative humidity or the number of heat points and PM2.5 concentrations in Upper Northern Thailand from 2021 to 2023.
- Estimate PM2.5 Concentrations in Upper Northern Thailand in 2021 to 2023 by using Regression Kriging.

INTRODUCTION

For many years, Thailand has faced persistent challenges with PM2.5 air pollution. The current infrastructure for monitoring PM2.5 concentrations is geographically constrained, with monitoring stations distributed sparsely across the country. In the upper northern region of Thailand, there are merely 16 monitoring stations available to measure PM2.5 levels. This limited monitoring network creates significant challenges in comprehensively assessing regional air quality. The ability to accurately measure PM2.5 concentrations is essential for developing and implementing effective strategies for managing and controlling air pollution.

Kriging is a spatial interpolation technique used to estimate the target variable at unobserved locations. This estimator is a linear combination of observed values and their corresponding weights that provides the best linear unbiased prediction with the minimum estimation variance. Regression kriging (RK) is a widely used kriging technique that incorporates auxiliary variables into the kriging model to enhance its predictive capabilities. RK involves decomposing the target variable into a deterministic trend and residual components.

MAIN RESULTS

Influencing factors

The results indicated a moderate to strong correlation between PM2.5 concentrations and the number of fire hotspots. In contrast, the correlation between PM2.5 concentrations and relative humidity was weak, as shown by both Pearson and Spearman rank correlation analyses. Furthermore, the correlation between PM2.5 concentrations and fire hotspot counts was notably stronger from March to April (2021–2023) compared to February (2021–2023).



Model Performance

The study focused on spatial interpolation of PM2.5 concentrations across all eight provinces in upper northern Thailand during March and April from 2021 to 2023, employing regression kriging. Fire hotspot data was incorporated as an auxiliary variable in the analysis. Results indicated that the MAPEs in March and April were 32.881 and 28.974 in 2021, 21.814 and 14.204 in 2022, and 23.148 and 19.469 in 2023, respectively. Overall, the MAPE across the three years (2021–2023) was 23.415.

Year	Month	MAPE
2021	March	32.881
2021	April	28.974
2022	March	21.814
2022	April	14.204
2023	March	23.148
2023	April	19.469
average		23.415

CONCLUSION

The study demonstrated a significant correlation between PM2.5 concentrations and the number of fire hotspots recorded in March and April from 2021 to 2023. The application of regression kriging to estimate the number of hotspots yielded the MAPE ranging from 14 to 33. This outcome indicates a moderate level of predictive accuracy. The observed error may be attributed to the limited number of monitoring stations and the necessity for greater spatial disaggregation of fire hotspots based on station locations.

METHODOLOGY

Data Collection

The study area encompassed eight provinces: Chiang Mai, Chiang Rai, Lampang, Lamphun, Mae Hong Son, Nan, Phrae, and Phayao.

The daily data used in this study consisted of three primary components collected from February to April during the years 2021 to 2023:

- Relative humidity measurements acquired from the Thailand Meteorological Department;
- Fire hotspot data derived from satellite imagery provided by the Royal Forest Department; and
- PM2.5 concentration measurements obtained from the Pollution Control Department.

Correlation Analysis

Let X and Y be random variables where Y is the target variable and X is the selected variables. Given observations $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$, we analyze their statistical interdependence through:

- Pearson correlation coefficient (r):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

- Spearman rank correlation coefficient (ρ):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

where d_i is the difference between ranks for observa i and n is the sample size.

Accuracy assessment

The mean absolute percentage error (MAPE) was employed to assess the accuracy of the method.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{\mu_{est} - x_i}{x_i} \right|}{n} \times 100$$

where n is the number of observations, x_i and μ_{est} denote the observed data and the estimated value, respectively.

Regression Kriging Process

Given n observed values, $(X(s_1), Z(s_1)), (X(s_2), Z(s_2)), \dots, (X(s_n), Z(s_n))$, at observed points, s_1, s_2, \dots, s_n .

Step 1: Formulate a trend function $\mu(s) = \beta_0 + \sum_{i=1}^L \beta_i f_i(X(s))$ to model the

relationship between data $X(s_i)$ and $z(s_i)$ for $i = 1, \dots, n$

Step 2: Compute the residual $\epsilon(s_i) = z(s_i) - \mu(s_i)$.

Step 3: Estimate the residual at an unobserved point s_0 using

$$\hat{\epsilon}_{OK}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i), \text{ where } \lambda_i \text{ is determined by solving the system}$$

$$\begin{bmatrix} \gamma(s_1 - s_1) & \gamma(s_1 - s_2) & \dots & \gamma(s_1 - s_n) & 1 \\ \gamma(s_2 - s_1) & \gamma(s_2 - s_2) & \dots & \gamma(s_2 - s_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(s_n - s_1) & \gamma(s_n - s_2) & \dots & \gamma(s_n - s_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(s_1 - s_0) \\ \gamma(s_2 - s_0) \\ \vdots \\ \gamma(s_n - s_0) \\ 1 \end{bmatrix}$$

with γ represents the variogram function.

Step 4: Estimate the target variable z at point s_0 using the formulat

$$\hat{z}(s_0) = \mu(s_0) + \hat{\epsilon}_{OK}(s_0).$$