



การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดิน เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ เกาะความร้อนของเมือง กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ The Estimation of Land Surface Temperature (LST) for Studying Urban Heat Island (UHI) A Case Study of Mueang District, Nakhon Sawan Province

นราธิป เฟ่งพิศ^{1*}, ไชยา อุชนะภัย¹, วรรณนันท์ ใจสะอาด¹, ประยูทธ สุระเสนา²

¹สาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

²สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

Narathip Phengphit^{1*}, Chaiya Uchanapai¹, Wattananan Jaisa-ard¹, Prayoot Surasena²

¹Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences,

Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan 60000

²Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science and Technology,

Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan 60000

Received 5 March 2024; Received in revised 15 November 2024; Accepted 25 November 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง โดยการประมาณอุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียม Landsat-9 ในระดับที่ 2 ด้วยอัลกอริทึม Single channel ที่ใช้พารามิเตอร์ทั้งหมด 5 ตัว คือ 1) ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน 2) สภาพแปลงรังสีของพื้นผิว 3) อัตราส่วนของรังสีอินฟราเรดความร้อนที่ส่งผ่านต่อรังสีที่ตกกระทบกับชั้นบรรยากาศ 4) การแผ่รังสีอินฟราเรดความร้อนของบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกและสะท้อนไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ และ 5) ค่าปริมาณการแผ่รังสีจากบรรยากาศและกระจัดกระจายไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ นอกจากนี้มีการจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินแบบ Random forest เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิพื้นผิว ผลการศึกษาพบว่า 1) พื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอเมืองนครสวรรค์ปกคลุมด้วยพื้นที่สีเขียว จำนวน 224,846 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 48.08 ของพื้นที่ รองลงมาคือพื้นที่ว่างเปล่า จำนวน 114,848 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 24.56 ของพื้นที่ และพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 55,801 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 11.93 ของพื้นที่ ซึ่งมีค่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกเท่ากับร้อยละ 87 และมีค่าสถิติแคปปา (Kappa statistic) เท่ากับ 0.83 2) อุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่อำเภอเมืองนครสวรรค์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.31 องศาเซลเซียส และพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าอุณหภูมิพื้นผิวอยู่

*ผู้รับผิดชอบบทความ: narathip.ph@nsru.ac.th

doi: 10.14456/tstj.2025.10

ระหว่าง 31.4-37 องศาเซลเซียส จำนวน 160,606 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 34.34 ของพื้นที่ 3) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Y) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ว่างเปล่า (X_1), พื้นที่สีเขียว (X_2), พื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง (X_3) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.8136-0.8108 และ 0.7553 ตามลำดับ สามารถแสดงสมการถดถอยเชิงพหุคูณ คือ $Y = 28.4410 + 0.1310(X_1) + 0.0369(X_2) + 0.0933(X_3)$ มีค่า ($R^2 = 0.78$) และ 4) การศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง พบว่าพื้นที่อำเภอเมืองนครสวรรค์มีพื้นที่ที่เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในระดับวิกฤต จำนวน 26,275 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.62 ของพื้นที่ ซึ่งพื้นที่ว่างเปล่าเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองในระดับที่วิกฤต มากกว่าพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง

คำสำคัญ: การรับรู้จากระยะไกล; เกาะความร้อนของเมือง; อุณหภูมิพื้นผิวดิน

Abstract

The research investigated the urban heat island (UHI) phenomenon based on land surface temperature (LST) using Landsat-9 (level-2) satellite data. LST was estimated using a single-channel algorithm that used 5 parameters: 1) the thermal infrared band, 2) land surface emissivity, 3) atmospheric transmittance, 4) upwelled radiance, and 5) downwelling radiance. Land use and land cover (LU/LC) were analyzed using Random Forest classification to examine the relationship between LU/LC and LST. The results showed that green spaces covered the majority of the district, accounting for 224,846 rai (48.08%), while bare land covered 114,848 rai (24.56%), and urban and built-up areas covered 55,801 rai (11.93%). The classification achieved an overall accuracy of 87% and a Kappa statistic of 0.83. The average LST of Mueang Nakhon Sawan District was 34.31°C, with most areas having an LST between 34.1-37 °C, covering 160,606 Rai (34.34%). The relationship between LU/LC and LST (Y) was analyzed for bare land (X_1), green spaces (X_2) and urban and building areas (X_3), showing correlation coefficients of 0.8136, -0.8108 and 0.7553, respectively. The multiple regression equation was: $Y = 28.4410 + 0.1310(X_1) + 0.0369(X_2) + 0.0933(X_3)$, with an R^2 value of 0.78 4. Regarding the urban heat island (UHI) effect, the Mueang Nakhon Sawan District had a critical UHI coverage of 26,275 Rai (5.62%). The UHI intensity was stronger in bare land areas than in urban and built-up areas.

Keywords: Remote sensing; Urban heat island; Land surface temperature

1. บทนำ

ภาวะโลกร้อน (Global warming) เป็นปรากฏการณ์ที่โลกไม่สามารถระบายความร้อนที่ได้รับจากรังสีของดวงอาทิตย์ออกไปได้อย่างปกติ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น และสภาพอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไป [1] ซึ่งการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรม

ของมนุษย์ต่าง ๆ เช่น การคมนาคมขนส่ง การผลิตในภาคอุตสาหกรรม การเผาในภาคการเกษตรเป็นสาเหตุสำคัญ [2] นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกว่า 1.1 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับยุคก่อนอุตสาหกรรม และจะเพิ่มขึ้นมากกว่า 1.5 องศาเซลเซียส ภายในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งจะส่งผลให้โลกก้าวสู่

วิกฤตการณ์ด้านสภาพภูมิอากาศของโลกที่จะก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรง ไม่สามารถแก้ไขให้ย้อนกลับไปได้ดังเดิมได้ [3] ผลกระทบที่เห็นได้ชัดเจนจากภาวะโลกร้อน เช่น ความแปรปรวนของสภาพอากาศ ความผิดปกติของโลก ความรุนแรงของภัยพิบัติทางธรรมชาติและอื่น ๆ

ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรของโลก สภาพภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้นและมีอุณหภูมิอากาศร้อนติดอันดับ 1 ใน 10 ของโลกอยู่หลายปี จากสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในคาบเวลา 20 ปี นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2563 ประมาณ 28.8 องศาเซลเซียส [4] และมีการคาดการณ์ว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของประเทศไทยจะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.95-3.23 องศาเซลเซียส ภายในปี พ.ศ. 2633 [5] ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหรือไม่ขึ้น ขึ้นอยู่กับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่คาดการณ์ไว้จะรุนแรงมากที่สุด ในภาคใต้และมีแนวโน้มภัยพิบัติจะทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะภัยพิบัติทางน้ำ จากรายงานของธนาคารโลก กล่าวว่า อุทกภัยเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ซึ่งประเทศไทยเป็น 1 ใน 10 ประเทศที่ประสบปัญหาอุทกภัยมากที่สุดในโลก อีกทั้งผลกระทบจากภัยแล้งและพายุยังมีแนวโน้มรุนแรงเพิ่มขึ้นในอนาคต อีกทางหนึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างประมาณ 15,716,554 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.90 และปี พ.ศ. 2564 มีพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างประมาณ 19,781,727 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.16 ของพื้นที่ประเทศ เพิ่มขึ้นจากช่วงปี พ.ศ. 2552 ประมาณร้อยละ 1.26 [6] ซึ่งพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างเป็นพื้นที่ที่คาดว่าปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศมากที่สุด โดยสัดส่วนการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลก ที่ส่วนใหญ่เป็นผลจากการใช้พลังงานจากก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหินในการผลิตไฟฟ้า การขนส่ง การผลิต และ

กระบวนการในภาคอุตสาหกรรม [7]

จังหวัดนครสวรรค์ เป็นจังหวัดที่เป็นศูนย์กลางของการคมนาคมขนส่งในภาคเหนือและมีการขยายตัวของเมืองอย่างต่อเนื่อง จากรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2552 จังหวัดนครสวรรค์มีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 371,185 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.19 ของพื้นที่จังหวัด ปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 403,611 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.73 และปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 408,298 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.81 ผสมกับปัจจุบัน ภาครัฐต้องการส่งเสริมให้อำเภอเมืองนครสวรรค์เป็นศูนย์กลางด้านโลจิสติกส์ มีแผนการลงทุนด้านรถไฟรางคู่ไปยังภาคตะวันตก (นครสวรรค์-กำแพงเพชร-ตาก-แม่สอด) เชื่อมโยงไปยังประเทศเมียนมาร์ และเริ่มมีกลุ่มทุน เข้ามาลงทุนในจังหวัด เช่น กลุ่ม CPN กลุ่มไต้หวัน กลุ่มสุภาลัย กลุ่มโรงพยาบาลสินแพทย์ [8] ซึ่งการเคลื่อนย้ายทุนเข้าสู่จังหวัด ย่อมส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายแรงงานและการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับกรมโยธาธิการและผังเมือง นครสวรรค์ที่ปรับปรุงเมืองบริเวณเขตเทศบาลนครนครสวรรค์จากสี่ลุ่มเป็นสี่แดง เพื่อรองรับการขยายตัวของเมือง ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวสามารถพัฒนาเชิงพาณิชย์ สร้างห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้าต่าง ๆ [9] โดยปกติจังหวัดนครสวรรค์เป็นจังหวัดที่มีอุณหภูมิอากาศค่อนข้างร้อนอบอ้าวในช่วงฤดูร้อน มีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงฤดูร้อนมากกว่า 40 องศาเซลเซียสในทุก ๆ ปี และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อนำค่ามาตรฐานอุณหภูมิอากาศ 30 ปีของสถานีอุตุนิยมวิทยานครสวรรค์ ในช่วงปี พ.ศ.2524-2553 ของทุกเดือน มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 0.5 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอุณหภูมิอากาศ ในปี พ.ศ.2504-2533 และเห็นเด่นชัดจนที่สุดในฤดูหนาวและฤดูฝน มีการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับการใช้ประโยชน์ที่ดินว่า สัดส่วนของพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน ในทางตรงข้าม

พื้นที่สีเขียวยังส่งผลให้อุณหภูมิภายในเมืองลดลง [10] ดังนั้นผู้ศึกษาวิจัยจึงทำการประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศหรือเทคโนโลยี 3S ได้แก่ การรับรู้จากระยะไกล (RS) ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) และระบบนำทางด้วยดาวเทียม (GNSS) มาใช้ประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินและศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเมือง โดยทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ มีความครอบคลุมปลอดภัย ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและยั่งยืน ซึ่งเป็นหนึ่งในเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG) เป้าหมายที่ 11

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์
2. เพื่อประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว จากดาวเทียม Landsat-9 อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิพื้นผิว อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์
4. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง (Urban heat island: UHI)

คือปรากฏการณ์ที่บริเวณเมือง มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณโดยรอบ [11] ซึ่งสาเหตุสำคัญของปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง คือ 1) การกักเก็บความร้อนของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง 2) ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ 3) การเปลี่ยนแปลงของขนาดและความเร็วลมจากสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่ 4) อัตราส่วนของการสะท้อนแสงของวัตถุต่อการดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Albedo) เพิ่มขึ้น [12] โดยทั่วไปปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือ 1) ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของบรรยากาศที่สูงกว่าเรือน

ยอดไม้ และ 2) ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองบรรยากาศที่ต่ำกว่าเรือนยอดไม้ ซึ่งเกิดกับอากาศเหนือพื้นดิน และส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผ่านกระบวนการถ่ายเทความร้อนในบรรยากาศ ในการตรวจวัดอุณหภูมิที่แท้จริงของพื้นผิวดินสามารถวัดได้ 2 วิธี คือ 1) การใช้เครื่องเทอร์โมมิเตอร์ตรวจวัดกับวัตถุโดยตรง มีค่าการตรวจวัดที่แม่นยำสูง และ 2) การตรวจวัดโดยใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนจากการรับรู้จากระยะไกล ผ่านแนวคิดการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody radiation)

3.2 แนวคิดวัตถุดำ (Blackbody concept)

เป็นทฤษฎีที่นำเสนอโดยกุสตาฟ เคอร์ชอฟฟ์ (Gustav Kirchhoff) ในปี พ.ศ. 2403 ที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดกลืน (Absorbed) พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุที่ตกกระทบทั้งหมดและไม่มีการสะท้อน (Reflection) หรือการส่งผ่าน (Transmittance) พลังงาน ซึ่งสามารถกำหนดอุณหภูมิของวัตถุดำได้จากการแผ่รังสีของวัตถุในสภาวะอุณหภูมิคงที่สมดุล ต่อมาแพลนค์ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้นำเสนอกฎที่อธิบายถึงสเปกตรัมการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทุกความยาวคลื่นของวัตถุดำ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เรียกว่า Planck's law ดังสมการที่ 1

$$M_\lambda = \frac{2hc^2}{\pi\lambda^5(e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1)} = \frac{C_1}{\lambda^5(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} \quad (1)$$

เมื่อ M_λ คือ การแผ่รังสีของวัตถุ หน่วย $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}$ h คือ ค่าคงที่ของแพลนค์ (6.626×10^{-34}) หน่วย $\text{J}\cdot\text{s}$ C คือ ค่าความเร็วแสง (2.9979246×10^8) หน่วย $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann (1.3806×10^{-3}) หน่วย $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ T คือ ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ (Absolute temperature) หน่วย K และ λ คือความยาวคลื่น หน่วย μm จากกฎของแพลนค์ การแผ่รังสีของวัตถุจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและอุณหภูมิเป็นสำคัญ และเมื่อผกผันฟังก์ชัน (Inverse duction) ของสมการที่ 1 จะสามารถทราบถึงอุณหภูมิของวัตถุดำได้ ดังสมการที่ 2

$$T(M_\lambda) = \frac{C_2}{\lambda \ln \left(\frac{C_1}{\lambda^5 M_\lambda} + 1 \right)} \quad (2)$$

เมื่อ C_2 คือ มีค่าเท่ากับ $1.4387752 \times 10^4 \mu\text{m}\cdot\text{K}$
 C_1 คือ มีค่าคงที่เท่ากับ $1.19104 \times 10^8 \text{ W/m}^2\cdot\text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-4}$

3.3 การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว

จากการรับรู้จากระยะไกลมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละจุดภาพ (Pixel) สามารถตรวจวัดได้จากช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared) และช่วงคลื่นแพชชีฟไมโครเวฟ (Passive microwave) ทั้งนี้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนให้รายละเอียดเชิงพื้นที่ที่ดีกว่า กล่าวคือมีรายละเอียดเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 90 เมตร ในดาวเทียมระบบ ASTER ไปจนถึง 1 กิโลเมตรในดาวเทียมระบบ MODIS แต่ข้อจำกัดของการได้มาซึ่งข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว คือ ท้องฟ้าจะต้องไม่มีเมฆปกคลุม [13] ในทางตรงข้ามการแผ่รังสีของช่วงคลื่น

ไมโครเวฟ นั้นได้รับผลกระทบจากบรรยากาศเพียงเล็กน้อย สามารถตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวได้ทุกสภาพอากาศ แต่รายละเอียดเชิงพื้นที่และความถูกต้องจากการประมาณค่าจะต่ำ จึงมีการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมากมาย โดยเฉพาะดาวเทียม Landsat ที่มีภารกิจด้านการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของโลกต่อเนื่องมากกว่า 30 ปี

Single channel เป็นวิธีการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว [14] จากข้อมูลดาวเทียม Landsat ระบบ TM ซึ่งสมการถูกประมาณจาก 1) ค่าสภาพเปล่งรังสีของพื้นผิว (ϵ_g) 2) ค่าการส่งผ่านชั้นบรรยากาศ (τ_o) และ 3) ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_a) ที่มาสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นกับอุณหภูมิวัดค่าตามฟังก์ชันของ Plank's ดังสมการที่ 3

$$T_s = [a(1 - C - D) + b(1 - C - D) + (C + D)T_6 - DT_a/C] \quad (3)$$

เมื่อ T_6 คือ อุณหภูมิความสว่าง (Brightness temperature) ของช่วงคลื่นที่ 6, a คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ -67.355351 b คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 0.458606 C คือ $\epsilon_g \tau_o$ และ D คือ $(1 - \tau_o)[1 + \tau_o(1 - \epsilon_g)]$

Generalized single-window [15] เป็นวิธีการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม Landsat ระบบ TM โดยได้มีการปรับปรุงอัลกอริทึม คือ 1) ใช้ฐานข้อมูลโปรไฟล์บรรยากาศทั้ง 4 ชุด ในการสร้างสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงเส้น 2) คำนวณสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันบรรยากาศ สำหรับดาวเทียม Landsat 4 5 7 และ 8 ผลจากการปรับปรุงอัลกอริทึมพบว่าบริเวณที่ไอน้ำในบรรยากาศมีค่าอยู่ระหว่าง $0.5\text{--}2.0 \text{ g/cm}^2$ มีค่าคลาดเคลื่อนการประมาณค่าต่ำ มีค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 1-2 องศา และมีค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถยอมรับได้เมื่อมีไอน้ำในบรรยากาศมากกว่า 3.0 g/cm^2 ต่อมาในปี

พ.ศ. 2566 ได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยอัลกอริทึม Single-channel สำหรับข้อมูลดาวเทียม Landsat-8 ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ช่วงคลื่นที่ 10 โดยการใช้ค่าอุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิว (Near surface air temperature : T_a) และค่าไอน้ำในชั้นบรรยากาศแนวตั้ง (Atmospheric column water vapor: ω) เพิ่มในฟังก์ชันไอน้ำในชั้นบรรยากาศ w_1 w_2 และ w_3 ผลการปรับปรุงอัลกอริทึมพบว่าวิธีการดังกล่าวมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.5 องศา เมื่อเทียบกับวิธีอื่นก่อนหน้านี้ ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการประมาณค่าอุณหภูมิแบบที่มีความแม่นยำสูงมาก [16]

ปัจจุบันมีการนำอุณหภูมิพื้นผิวมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองกันอย่างกว้างขวาง มีศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิพื้นผิวที่แตกต่างกันในเขตเมืองของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล [17] โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat-7 ระบบ ETM และ

ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความหนาแน่นของเมือง พื้นที่การกระจุกตัวของอาคาร จำนวนพืชพรรณในพื้นที่เมือง สัณฐานของเมือง ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยทั้งหมดมีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง และพื้นที่สีเขียวมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิภายในเมือง สอดคล้องกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล [18] ซึ่งพบว่า 1) ต้นไม้และพืชพรรณเป็นร่มเงาและช่วยให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลง และยังช่วยลดอุณหภูมิอากาศผ่านกระบวนการคายน้ำ 2) สัดส่วนของวัสดุอาคาร มีอิทธิพลต่อการสะท้อนแสงอาทิตย์ การปลดปล่อยความร้อนและการเก็บกักความร้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง 3) กิจกรรมของมนุษย์ก่อให้เกิดความร้อนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งล้วนเป็นกิจกรรมของเมืองและโครงสร้างเชิงเศรษฐกิจ นอกเหนือจากนี้ยังมีการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนและก๊าซเรือนกระจกในการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก โดยใช้อัลกอริทึม Single-channel มาประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม Landsat-5 และ Landsat-8 และศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง โดยดัชนี UTFVI [19] ซึ่งใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษาและอุณหภูมิของจุดภาพมาวิเคราะห์ จุดภาพใดมีต่ำกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่จะไม่เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง แต่จุดภาพใดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยคือเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง [20]

จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่ามีการใช้ดาวเทียมตระกูล Landsat มาใช้ในการประเมินพื้นที่เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองอย่างแพร่หลายและกิจกรรมของเมืองและโครงสร้างทางเศรษฐกิจเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง ซึ่งจังหวัดนครสวรรค์เป็นจังหวัดหนึ่งที่มีการพัฒนาปัจจัยโครงสร้างพื้นฐานและพัฒนาเมืองผนวกกับสภาพภูมิอากาศที่ค่อนข้างร้อน แห้งแล้ง จึงเป็นประเด็นศึกษาในครั้งนี้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย การวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat-9 เป็นข้อมูลระดับที่ 2 (Level-2) จากกรมสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (US Geological Survey: USGS) ตำแหน่งแถวแนวตั้ง (Path) 130 และตำแหน่งแถวแนวนอน (Row) 49 บันทึกข้อมูลวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2566 เวลา 10 นาฬิกา 43 นาที

4.2 ขั้นตอนการศึกษา

4.2.1 การจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน

บริเวณพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธีการจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินแบบ Random forest ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความแม่นยำ [21] มีวิธีดังนี้ 1) การรวมแบนด์และผสมสีภาพ (Color composite band) โดยเลือกช่วงคลื่นที่ 2-7 ที่เป็นภาพถ่ายดาวเทียมระบบ OLI ให้เป็นภาพเดียวกันและทำการตัดภาพ (Clip) ตามขอบเขตการศึกษา 2) การกำหนดชุดข้อมูลตัวอย่าง (Sample area) ของชุดข้อมูลอ้างอิง จำนวน 4 ชุด จากภาพถ่ายดาวเทียม โดยกำหนดชุดข้อมูลอ้างอิง ดังนี้ พื้นที่สีเขียว (Green spaces: G) พื้นที่ว่างเปล่า (Bare land: B) พื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง (Urban and building areas: U) และพื้นที่แหล่งน้ำ (Water bodies: W) 3) สร้าง Decision trees ของชุดข้อมูล ทำการแยก ชุดข้อมูล (Split dataset) กำหนดค่า Train data ค่า Test data ของแบบจำลอง 4) สร้างแบบจำลอง Random forest classifier กำหนดจำนวน Number of tree 5) ตรวจสอบค่าความถูกต้อง ระหว่างค่าจริงและค่าเจาะจง คาดการณ์ของแบบจำลอง Random forest ถ้าค่ามากกว่าร้อยละ 80 จึงนำผลลัพธ์ไปใช้จำแนกภาพถ่ายดาวเทียม 6) ตรวจสอบค่าความถูกต้อง ของการจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน โดยกำหนดจุดอ้างอิงชั้นข้อมูลละ 50 จุด รวม 200 จุด หลังจากนั้นนำมาสร้างตารางเมทริกซ์ เพื่อหาค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ค่าความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ (Producer

Accuracy :PA) และค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน (Customer accuracy) และค่าสถิติแคปปา (Kappa statistic) ตามลำดับ

4.2.2 การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เลือกใช้วิธีการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินจากดาวเทียม Landsat-9 ระดับที่ 2 ดัง Table 1 ด้วยอัลกอริทึม Single-channel มาใช้ในประมาณค่าในช่วงคลื่นที่ 10 (TIR-10) มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 10.6-11.19 ไมโครเมตร ดังต่อไปนี้

Table 1 Specifications of thermal infrared band for Landsat-9 Level-2 Data [22]

Band names	Identifier FT	Units	Scale factor
Upwelled radiance (L_u)	ST_URAD	W/(m ² sr μm)/DN	0.001
Downwelled radiance (L_d)	ST_DRAD	W/(m ² sr μm)/DN	0.001
Atmospheric transmittance (τ)	ST_ATRAN	Unitless	0.0001
Emissivity of band10 estimate form ASTER GED (ϵ)	ST_EMIS	Emissivity coefficient	0.0001
Thermal band converted to radiance (L_{sen})	ST_TRAD	W/(m ² sr μm)/DN	0.001

4.2.2.1 การแปลงค่าเชิงเลข (DN) ของช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนให้อยู่ในรูปของค่าการแผ่รังสีเชิงสเปกตรัม (Spectral Radiance) ดังสมการที่ 4

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (4)$$

เมื่อ L_λ คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงสเปกตรัม (W/m² sr μm) M_L คือ ค่า Radiance multi band มีค่าคงที่เท่ากับ 0.00038 A_L คือ ค่า Radiance add band มีค่าคงที่เท่ากับ 0.1 Q_{cal} คือ ค่าเชิงเลข (DN)

4.2.2.2 การศึกษาค่าอุณหภูมิความสว่าง (T_{sen}) จากค่าการแผ่รังสีเชิงสเปกตรัม เมื่อค่าการแผ่รังสีของพื้นผิววัตถุจริงเท่ากับวัตถุดำ สามารถนิยามได้โดยการกลับฟังก์ชันของ Planck's ดังสมการที่ 5

$$T_{sen} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (5)$$

เมื่อ ค่า K_1 มีค่าคงที่เท่ากับ 799.0284 (W/m² sr μm), ค่า K_2 มีค่าคงที่เท่ากับ 1,329.2405 (K)

4.2.2.3 การอุณหภูมิพื้นผิวด้วยอัลกอริทึม Single-channel เป็นการประมาณค่าที่นำพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชั้นบรรยากาศและลักษณะของพื้นผิวโลกที่ทำปฏิกิริยากับช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมาจัดความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่า ดังสมการที่ 6 7 8 และ 9

$$LST = \gamma \left\{ \frac{1}{\epsilon} [\omega_1 L_{sen} + \omega_2] + \omega_3 \right\} + \delta \quad (6)$$

$$\gamma = \left\{ \frac{C_2 L_{sen}}{T_{sen}^2} \left[\frac{\lambda^4}{C_1} L_{sen} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (7)$$

$$\delta = -\gamma L_{sen} + T_{sen} \quad (8)$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\tau}, \omega_2 = -L_u - \frac{L_d}{\tau}, \omega_3 = L_u \quad (9)$$

และ L_{sen} คือค่าการแผ่รังสีของเซนเซอร์ (At-sensor radiance) สามารถคำนวณได้จากสมการถ่ายโอนรังสี ดังสมการที่ 10

$$L_{sen} = \{\varepsilon \cdot L_a + (1 - \varepsilon) \cdot L_d\} \cdot \tau + L_u \quad (10)$$

เมื่อ ε คือ ค่าสภาพเปล่งรังสีของพื้นผิว สามารถคำนวณได้ค่า DN จากชุดผลิตภัณฑ์ ST_EMIS*0.0001

τ คือ อัตราส่วนของรังสีอินฟราเรดความร้อนที่ส่งผ่านต่อรังสีที่ตกกระทบกับชั้นบรรยากาศ สามารถคำนวณได้ค่า DN จากชุดผลิตภัณฑ์ ST_ATRAN*0.0001

L_d คือ การแผ่รังสีอินฟราเรดความร้อนของบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกและสะท้อนกลับไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณสามารถคำนวณได้ค่า DN จากชุดผลิตภัณฑ์ ST_DRAD *0.001

L_u คือ ค่าปริมาณการแผ่รังสีจากบรรยากาศและกระจัดกระจายไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณสามารถคำนวณได้ค่า DN จากชุดผลิตภัณฑ์ ST_URAD *0.001

4.2.3 การศึกษาความสัมพันธ์

ระหว่างร้อยละของการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท (X) ที่เป็นตัวแปรต้นกับอุณหภูมิพื้นผิว(Y) ที่เป็นตัวแปรตามโดยสร้างข้อมูลตารางกริดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร และนำมาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (r) (Pearson's correlation) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 คำนวณได้จากสมการสมการที่ 11 การสร้างสมการถดถอยพหุคูณ คำนวณได้จากสมการที่ 12

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (11)$$

และ

$$Y = a + b_1(X_1) + b_2(X_2) + \dots + b_n(X_n) \quad (12)$$

เมื่อ a คือ จุดตัดของแกน Y

B_{1-n} คือ ความลาดชัน (Slope) ของสมการ

4.2.4 การศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง

ด้วยดัชนีความแปรปรวนความร้อนในเขตเมือง (Urban Thermal Field Variance Index: UTFVI) คำนวณได้จากค่าอุณหภูมิพื้นผิว (T_s) และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ (T_{mean}) คำนวณได้จากสมการที่ 13

$$UTFVI = \frac{T_s - T_{mean}}{T_{mean}} \quad (13)$$

5. ผลการศึกษา

5.1 การศึกษาการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน

บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ด้วยวิธีการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมแบบ Random forest พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอเมืองนครสวรรค์ ปกคลุมด้วยพื้นที่สีเขียวมากที่สุด (G) จำนวน 224,846 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 48.08 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่สีเขียว หมายรวมถึง พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่กลางแจ้ง และกิ่งกลางแจ้งที่มีขอบเขตที่ดินทั้งหมดหรือบางส่วน ปกคลุมด้วยพืชบนผิวดินที่ขึ้นน้ำได้ ทั้งในเขตเมืองและนอกเมืองโดยตำบลที่พบพื้นที่สีเขียวมากที่สุด คือ ตำบลตะเคียนเลื่อน ตำบลบ้านแก่ง ตำบลบ้านมะเกลือ คิดเป็นร้อยละ 70.60 65.94 และ 60.05 ของพื้นที่ตำบล ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ว่างเปล่า (B) มีจำนวนรองลงมา มีพื้นที่จำนวน 114,848 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 24.56 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่ว่างเปล่า หมายรวมถึง พื้นที่เกษตรที่เก็บเกี่ยวผลผลิตและพื้นที่ที่ปรับเพื่อรอการพัฒนาเป็นพื้นที่เมือง พบมากในพื้นที่ตำบลหนองปลิง ตำบลหนองกรดและตำบลหนองกระโดน คิดเป็นร้อยละ 52.82 32.80 และ 31.46 ของพื้นที่ตำบล ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง(U) มีพื้นที่จำนวน 55,801 คิดเป็นร้อยละ 11.93 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในพื้นที่ตำบลปากน้ำโพ จำนวน 6,916 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 38.53 ซึ่งเป็นศูนย์กลางทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของจังหวัด รองลงมาตำบลวัดไทร ตำบลบึงเสนาทและตำบลบางม่วง

คิดเป็นร้อยละ 21.79 19.57 และ 18.84 ของพื้นที่ตำบลตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวตั้งอยู่บริเวณโดยรอบตำบลปากน้ำโพ และพื้นที่แหล่งน้ำ(W) มีพื้นที่จำนวน 72,173 ไร่ คิดร้อยละ 15.43 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่พบใน

พื้นที่ตำบลเกรียงไกร ตำบลพระนอน ตำบลแควใหญ่ ที่เป็นพื้นที่ตั้งของบึงบอระเพ็ด ดัง Table 2 และ Figure 1

Table 2 Land use/Land cover areas in Mueang Nakhon Sawan District

Tambon	Bare land		Green area		Urban and building		Water		Total
	Rai	%	Rai	%	Rai	%	Rai	%	
Ban Kaeng	1,410	7.05	13,193	65.94	1,816	9.07	3,588	17.93	20,007
Ban Makluea	2,785	13.09	12,771	60.05	2,662	12.52	3,050	14.34	21,269
Bang Muang	1,431	10.16	7,296	51.80	2,654	18.84	2,704	19.20	14,084
Bang Phra Luang	1,199	8.76	5,057	36.97	1,165	8.51	6,258	45.75	13,679
Buang Senat	806	11.58	3,347	48.07	1,362	19.57	1,447	20.78	6,962
Khwaie Yai	493	6.98	2,642	37.47	833	11.81	3,085	43.74	7,052
Klang Daet	3,367	29.70	5,886	51.92	1,258	11.10	826	7.29	11,338
Kriang Krai	1,903	6.75	9,066	32.16	1,925	6.83	15,296	54.26	28,189
Nakhon Sawan Ok	3,129	30.46	5,599	54.50	1,180	11.48	366	3.56	10,273
Nakhon Sawan Tok	3,116	14.03	11,750	52.92	4,147	18.68	3,191	14.37	22,204
Nong Kradon	21,123	31.46	34,648	51.60	7,910	11.78	3,464	5.16	67,145
Nong Krot	26,433	32.80	38,805	48.15	8,316	10.32	7,030	8.72	80,586
Nong Pling	18,913	52.82	12,777	35.68	3,584	10.01	534	1.49	35,808
Pak Nam Pho	3,040	16.94	5,986	33.34	6,916	38.53	2,009	11.19	17,951
Phra Non	22,684	29.00	35,862	45.85	4,647	5.94	15,025	19.21	78,218
Takhian Luean	1,604	11.19	10,121	70.60	1,382	9.64	1,230	8.58	14,337
Wat Sai	1,412	7.61	10,039	54.07	4,045	21.79	3,069	16.53	18,565
Total	114,848	24.56	224,846	48.08	,801	11.93	72,173	15.43	467,668

จากการทดสอบแบบจำลองด้วย Cross-validation ก่อนการจำแนกประเภทข้อมูล มีค่าเท่ากับ 99.67 ซึ่งค่าเกินกว่าร้อยละ 80 สามารถนำไปใช้งานได้ และเมื่อจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งปลูกคลุมดินแล้ว พบว่าแผนที่การใช้ที่ดิน/สิ่งปลูกคลุมดินมีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 87 และค่าสถิติแคปปาเท่ากับ 0.83 ดัง Table 3 และเมื่อตรวจสอบค่าความถูกต้องของ

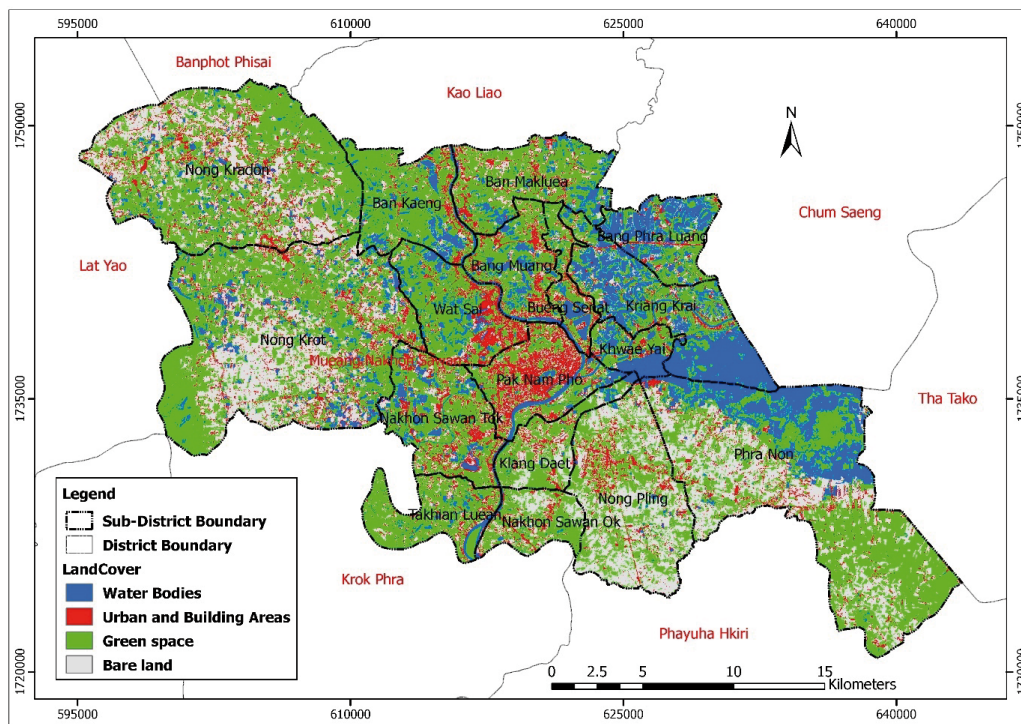
ผลิตภัณฑ์ (PA) เมื่อเทียบกับพื้นที่จริง พบ พื้นที่แหล่งน้ำมีความถูกต้องมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 95.56 รองลงมาคือพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง คิดเป็นร้อยละ 90.91 ในอีกทางหนึ่งการประเมินความถูกต้องของผู้ใช้งาน (CA) ในพื้นที่จริง พบว่าพื้นที่สีเขียวมีความถูกต้องมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 96 เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีพื้นที่อื่นจำแนกเกินเข้ามาน้อยที่สุด

Table 3 Accuracy assessment of land cover classification in Mueang Nakhon Sawan District

Land cover		Ground truth data						
		G	B	W	U	total	EC%	CA%
Classified Data	G	48	1	0	1	50	4.00	96.00
	B	3	43	1	3	50	14.00	86.00
	W	6	1	43	0	50	14.00	86.00
	U	2	7	1	40	50	20.00	80.00
	total	59	52	45	44	200		
	EO%	18.64	17.31	4.44	9.09			
	PA%	81.36	82.69	95.56	90.91			

Overall accuracy = 87%

Kappa statistic = 0.83

**Figure 1** The land use/land cover classification of Mueang Nakhon Sawan District in 2023

5.2 การศึกษาอุณหภูมิพื้นผิว

อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 34.31 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิวดำสุด 24.59 และสูงสุด 47.35 องศาเซลเซียส เมื่อจำแนกรายตำบล พบว่า ตำบลหนองปลิงมีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 38.8 รองลงมา คือ ตำบลนครสวรรค์ออก ตำบลกลางแดด มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 36.8 และ 36.5 องศาเซลเซียส ซึ่งตำบลดังกล่าวพื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยพื้นที่ว่างเปล่าและมีพื้นที่ชุมชนเมืองหนาแน่นในระดับปานกลาง ส่วนตำบลที่มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำสุด ได้แก่ ตำบลเกรียงไกร ตำบลบ้านแก่ง และตำบลบางพระหลวงที่พื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยพื้นที่สีเขียวและแหล่งน้ำ มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 31.5 31.8 และ 32.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนตำบลปากน้ำโพ ตำบลบางม่วงที่พื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างอย่างหนาแน่น มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 35.6 และ 34.2

องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อแบ่งระดับของอุณหภูมิพื้นผิวดิน ออกเป็น 5 ระดับ พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิพื้นผิวดินอยู่ระหว่าง 34.1-37.0 องศาเซลเซียส จำนวน 160,606 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 34.34 ของพื้นที่ทั้งหมด พบกระจายทั่วไปในบริเวณพื้นที่ตำบลบึงสนาท ตำบลปากน้ำโพ ตำบลบางม่วง และตำบลหนองกรด ส่วนพื้นที่ที่มีอุณหภูมิพื้นผิวดินอยู่ระหว่าง 37.1-40 องศาเซลเซียส มีพื้นที่จำนวน 84,066 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.98 พบมากในบริเวณพื้นที่ตำบลหนองปลิง ตำบลนครสวรรค์ออก และตำบลกลางแดด ส่วนพื้นที่ที่มีอุณหภูมิพื้นผิวดินมากกว่า 40 องศาเซลเซียส มีจำนวน 22,302 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.77 พบมากที่สุดที่ตำบลหนองปลิง ส่วนพื้นที่ที่มีอุณหภูมิพื้นผิวดินต่ำกว่า 34 องศาเซลเซียส มีจำนวน 64,319 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 13.75 พบมากในตำบลเกรียงไกร ตำบลบ้านแก่ง และตำบลแควใหญ่ รายละเอียดดังตาราง (Table 4) และภาพ (Figure 2)

Table 3 Accuracy assessment of land cover classification in Mueang Nakhon Sawan District

Tambon	LST <31.0 C°		LST 31.1-34 C°		LST 34.1-37.0 C°		LST 37.1-40.0 C°		LST >40.0 C°		Total		LST	
	Rai	%	Rai	%	Rai	%	Rai	%	Rai	%	area	%	min	max
Ban Kaeng	7,177	35.87	9,803	49.00	2,832	14.15	195	0.98	-	-	20,007	-	27.01	39.71
Ban Makluea	2,342	11.01	8,298	39.01	8,985	42.24	1,314	6.18	331	1.56	21,269	1.56	27.61	47.35
Bang Muang	857	6.08	5,374	38.15	6,638	47.13	1,162	8.25	54	0.38	14,084	0.38	27.51	41.67
Bang Phra Luang	2,483	18.15	8,885	64.95	2,200	16.08	112	0.82	-	-	13,679	-	28.37	39.80
Bueng Senat	915	13.14	2,239	32.16	3,484	50.04	318	4.57	6	0.08	6,962	0.08	28.39	40.45
Khwaie Yai	2,473	35.07	2,867	40.66	1,498	21.24	193	2.74	21	0.29	7,052	0.29	27.99	42.12
Klang Daet	448	3.95	1,522	13.42	4,414	38.93	3,725	32.86	1,229	10.84	11,338	10.84	27.77	43.55
Kriang Krai	11,352	40.27	12,488	44.30	4,209	14.93	141	0.50	-	-	28,189	-	27.09	39.48
Nakhon Sawan Ok	220	2.14	1,120	10.90	4,165	40.54	3,652	35.55	1,116	10.86	10,273	10.86	28.30	46.89
Nakhon Sawan Tok	1,565	7.05	8,154	36.72	9,362	42.16	2,811	12.66	312	1.40	22,204	1.40	27.15	43.96
Nong Kradon	8,519	12.69	22,233	33.11	29,990	44.66	6,251	9.31	152	0.23	67,145	0.23	26.98	45.04
Nong Krot	4,234	5.25	25,496	31.64	36,580	45.39	13,188	16.36	1,088	1.35	80,586	1.35	24.59	45.54
Nong Pling	28	0.08	369	1.03	5,797	16.19	19,875	55.51	9,738	27.20	35,808	27.20	29.21	45.34
Pak Nam Pho	1,169	6.51	2,473	13.77	8,809	49.07	5,313	29.60	187	1.04	17,951	1.04	27.25	44.31
Phra Non	14,785	18.90	10,894	13.93	21,613	27.63	23,021	29.43	7,904	10.11	78,218	10.11	26.48	44.79
Takhian Luean	2,562	17.87	5,842	40.75	5,220	36.41	692	4.82	21	0.14	14,337	0.14	28.06	42.17
Wat Sai	3,189	17.18	8,316	44.79	4,811	25.91	2,105	11.34	144	0.78	18,565	0.78	27.44	42.95
Total area	64,319	13.75	136,375	29.16	160,606	34.34	84,066	17.98	22,302	4.77	467,668	4.77	24.59	47.35

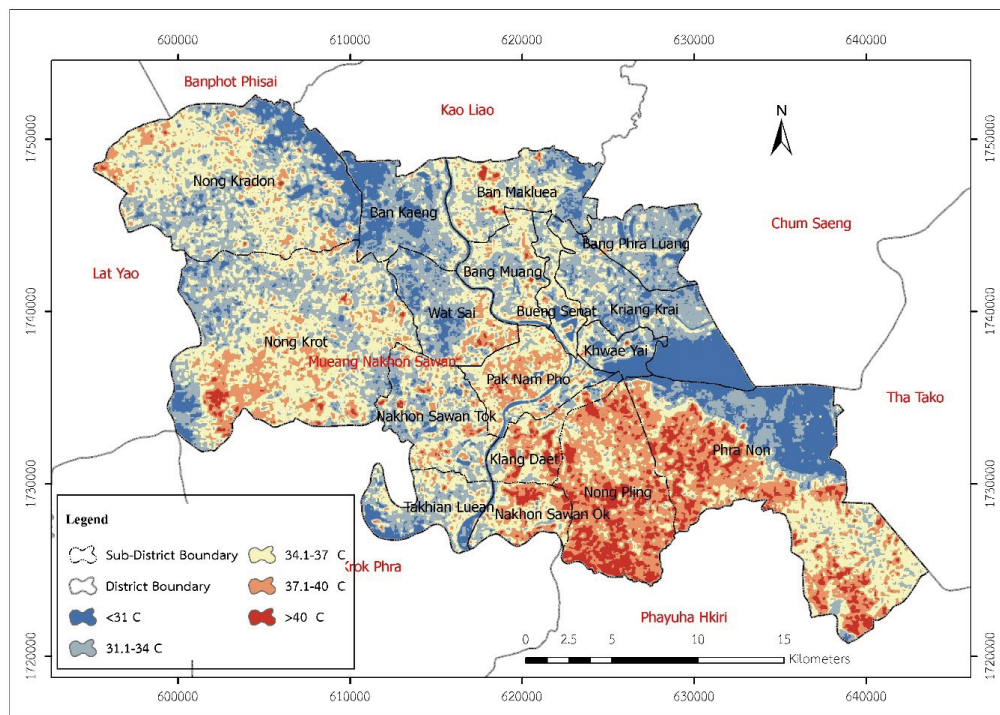


Figure 2 Land surface temperature of Mueang Nakhon Sawan District in 2023

5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของสิ่งปกคลุมดินทั้ง 4 ประเภทกับอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยภายในพื้นที่ตารางกริดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร จำนวน 161 ตารางกริด ด้วยสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่าร้อยละของพื้นที่ว่างเปล่า ร้อยละพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างภายในตารางกริด มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยในระดับสูง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่า r เท่า 0.8136 และ 0.7553 ตามลำดับ ดังตาราง (Table 5) อธิบายปรากฏการณ์ข้างต้นว่าร้อยละของ

พื้นที่ว่างเปล่า และร้อยละของพื้นที่เมือง/สิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยก็จะเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน แต่ร้อยละของพื้นที่ว่างเปล่า จะมีอิทธิพลมากกว่าร้อยละของพื้นที่เมือง/สิ่งปลูกสร้าง ในอีกทางหนึ่งร้อยละของพื้นที่สีเขียวภายในตารางกริด มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยในระดับสูงมีค่า r เท่ากับ -0.8108 อธิบายว่าเมื่อร้อยละของพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ก็จะลดลง ส่วนร้อยละของพื้นที่แหล่งน้ำ มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันในระดับต่ำ มีค่า r เท่ากับ -0.3268

Table 5 Correlation statistics between land use/land cover and land surface temperature

r correlation	Land surface temperature
Bare land	0.8136
Green spaces	-0.8108
Urban and Building areas	0.7553
Water bodies	-0.3268

เมื่อนำร้อยละของการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่มีความสัมพันธ์ในระดับสูงมาสร้างสมการถดถอยพหุคูณเพื่อพยากรณ์อุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยของพื้นที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน ดังสมการ (Equation 14) และภาพ (Figure 3) ซึ่งสมการถดถอยเชิงพหุคูณมีค่าสหสัมพันธ์ของชุดข้อมูลเท่ากับ 0.8831 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.7799

แปลความหมายได้ว่าพื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง ทั้งสามประเภทมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดินร้อยละ 77.99 ส่วนที่เหลือ 22.01 เป็นผลมาจากปัจจัยอื่น ยกตัวอย่างเช่น ความร้อนจากการใช้เครื่องปรับอากาศ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ความสูงและวัสดุของสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น

$$Y = 28.4410 + 0.1310(X_1) + 0.0369(X_2) + 0.0933(X_3) \quad (14)$$

เมื่อ Y เท่ากับ อุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ย
 X_1 เท่ากับ ร้อยละของพื้นที่ว่างเปล่า
 X_2 เท่ากับ ร้อยละของพื้นที่สีเขียว
 X_3 เท่ากับ ร้อยละของพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง

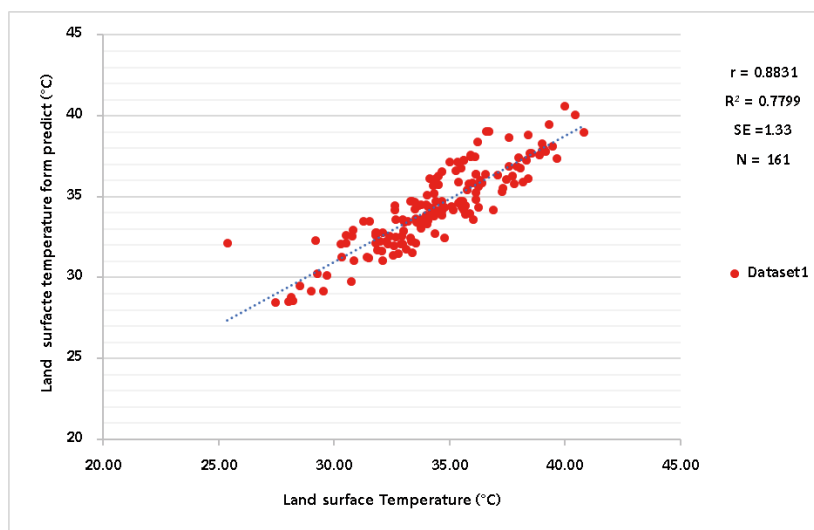


Figure 3 Relationship between Landsat-9 derived LST and predicted LST

5.4 การศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง

ด้วยดัชนี UTFVI โดยประมาณค่าจากอุณหภูมิพื้นผิวดิน พบว่า ตำบลที่เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองในระดับวิกฤต ได้แก่ ตำบลหนองปลิง มีพื้นที่จำนวน 11,250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 31.42 ของตำบล รองลงมาคือตำบลพระนอน มีพื้นที่จำนวน 9,446 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.08 ของตำบล ส่วนตำบลปากน้ำโพ ซึ่งถือว่าเป็นศูนย์กลางความเจริญทางเศรษฐกิจและสังคมของจังหวัดนครสวรรค์ มีพื้นที่ส่วนใหญ่เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในระดับปานกลาง จำนวน

5,633 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 31.38 ของพื้นที่ตำบล ส่วนพื้นที่เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในระดับวิกฤตของตำบลปากน้ำโพ พบเพียง 280 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.56 ของพื้นที่ตำบล ทั้งนี้ตำบลที่มีจำนวนพื้นที่ที่ไม่เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองมากกว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่ ได้แก่ ตำบลเกรียงไกร มีพื้นที่จำนวน 25,674 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 91.06 ของพื้นที่ตำบล ตำบลบ้านแก่ง มีพื้นที่จำนวน 18,010 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 90.01 ของตำบล รายละเอียดดังตาราง (Table 6) และภาพ (Figure 4)

Table 6 Urban thermal field variation index (UTFVI) in Mueang Nakhon Sawan Districts (unit: Rai)

Tambon	None	%	Low	%	Middle	%	High	%	Critical	%	Total area
Ban Kaeng	18,010	90.01	1,562	7.81	381	1.90	56	0.28	-	-	20,009
Ban Makluea	13,257	62.33	5,469	25.71	1,670	7.85	509	2.39	365	1.72	21,271
Bang Muang	7,970	56.59	3,951	28.06	1,768	12.56	329	2.34	65	0.46	14,083
Bang Phra Luang	12,311	89.94	1,113	8.13	240	1.75	24	0.18	-	0.00	13,689
Bueng Senat	4,289	61.61	2,010	28.87	572	8.21	82	1.17	10	0.14	6,962
Khwaie Yai	5,889	83.51	812	11.51	242	3.43	84	1.20	25	0.35	7,052
Klang Daet	2,638	23.27	2,692	23.75	2,695	23.77	1,888	16.65	1,424	12.56	11,337
Kriang Krai	25,674	91.07	2,180	7.73	299	1.06	39	0.14	-	-	28,192
Nakhon Sawan Ok	1,858	18.08	2,430	23.65	2,871	27.94	1,842	17.92	1,274	12.40	10,274
Nakhon Sawan Tok	11,997	54.04	5,476	24.67	3,122	14.06	1,194	5.38	413	1.86	22,203
Nong Kradon	36,788	54.79	18,580	27.67	9,723	14.48	1,852	2.76	199	0.30	67,142
Nong Krot	36,917	45.82	21,341	26.48	16,458	20.42	4,564	5.66	1,297	1.61	80,577
Nong Pling	644	1.80	2,639	7.37	9,287	25.94	11,984	33.47	11,250	31.42	35,805
Pak Nam Pho	4,872	27.14	5,131	28.59	5,633	31.38	2,033	11.33	280	1.56	17,949
Phra Non	29,319	37.49	12,769	16.33	13,104	16.75	13,571	17.35	9,446	12.08	78,209
Takhian Luean	9,932	69.20	3,097	21.58	1,095	7.63	198	1.38	30	0.21	14,352
Wat Sai	12,755	68.71	2,685	14.46	1,996	10.75	931	5.02	196	1.06	18,563
Total area	235,121	50.28	93,937	20.09	71,155	15.21	41,180	8.81	26,275	5.62	467,668

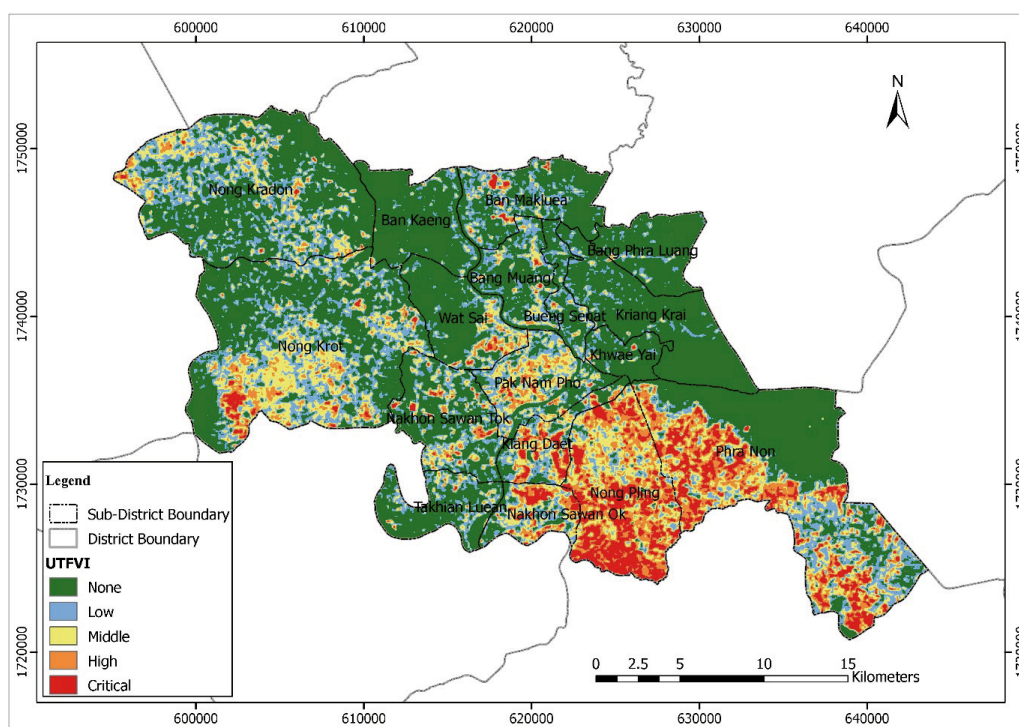


Figure 4 Urban thermal field variation index (UTFVI) of Mueang Nakhon Sawan District in 2023

6. อภิปรายผลการศึกษา

จากการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวเพื่อศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ จากข้อมูลดาวเทียม Landsat-9 แบ่งการอภิปรายผลเป็นประเด็นดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน จากการศึกษาความสัมพันธ์พบว่าพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดนครสวรรค์ มีรูปแบบความสัมพันธ์แตกต่างกับพื้นที่อื่น ๆ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดนครสวรรค์เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ในเขตชลประทานเพียงบางส่วน ทำให้เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อน อากาศจะร้อนและแห้งแล้ง พื้นที่เกษตรส่วนใหญ่กลายเป็นพื้นดินที่ว่างเปล่าจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ไม่มีพื้นที่สีเขียวปกคลุมส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนของดินโดยตรง จากนั้นแผ่รังสีความร้อนสู่อากาศใกล้พื้นผิว ทำให้ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน มีอุณหภูมิร้อนระอุ

จากค่ามาตรฐาน 30 ปี (2524-2553) ในพบว่าช่วงเดือนมีนาคม และเดือนเมษายน มีค่าอุณหภูมิสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส [23] ดังนั้นพื้นที่ว่างเปล่าจึงมีความสัมพันธ์ที่ส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอำเภอเมืองนครสวรรค์มากที่สุด

2. ปรากฏการณ์เกาะความร้อน อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ จากค่าดัชนี UTFVI ที่สัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน โดยพื้นที่ที่เกิดปรากฏการณ์ในระดับสูงสุด เช่น ตำบลหนองปลิง ตำบลพระนอน ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ว่างเปล่าจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ส่งผลให้พื้นที่สีเขียวลดลง ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงข้าม [24] เมื่อถึงช่วงฤดูการเพาะปลูก พื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวจะลดลง ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองบริเวณดังกล่าว จะเข้าสู่ภาวะปกติ ซึ่งเป็นรูปแบบปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเพียงชั่วคราว แตกต่างจากบริเวณพื้นที่ตำบลปากน้ำโพ ตำบล

นครสวรรค์ตกที่เป็นพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างที่ค่อนข้างหนาแน่น ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองบริเวณดังกล่าวจะเกิดขึ้นถาวร เนื่องจากสิ่งปลูกสร้างมีวัสดุที่คอยดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ รวมถึงกิจกรรมภายในเมืองจากการเผาผลาญพลังงาน [25] สำหรับการเพิ่มพื้นที่สีเขียวตามธรรมชาติเพื่อลดอุณหภูมิในพื้นที่ความเป็นเมืองสูงนั้นทำได้ยาก การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในอาคาร บ้านพักอาศัยหรือหน่วยงานราชการ โดยเฉพาะการรณรงค์ให้ปลูกพืชหรือสร้างพื้นที่สีเขียวบนหลังคาจะช่วยลดสภาวะเกาะความร้อนของเมืองได้ [26]

7. ข้อเสนอแนะ

1. การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินจากดาวเทียม Landsat-9 ในระดับที่ 2 ประกอบไปด้วย 1) ค่าสภาพเปล่งรังสีของพื้นที่ผิว (ε) 2) ค่าอัตราส่วนของรังสีอินฟราเรดความร้อนที่ส่งผ่านต่อรังสีที่ตกกระทบกับชั้นบรรยากาศ (τ) 3) การแผ่รังสีอินฟราเรดความร้อนของบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกและสะท้อนกลับไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ (L_d) 4) ค่าปริมาณการแผ่รังสีจากบรรยากาศและกระจัดกระจายไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ (L_u) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมาณค่าด้วยอัลกอริทึม Single Channel ที่ใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนช่วงคลื่นที่ 10 เพียงช่วงคลื่นเดียว แต่ดาวเทียม Landsat-9 มีช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนทั้งหมด 2 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นที่ 10 และ 11 ซึ่งเหมาะกับการประมาณค่าแบบ Split-window อีกแบบหนึ่ง ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป จึงควรเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าว่าอัลกอริทึมใดมีความเหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย และตรวจสอบกับค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินจากพื้นที่จริง

8. References

- [1] Climate Center, Global Warming, Available Source: <http://climate.tmd.go.th/content/file/11>, February 29, 2024. (in Thai)
- [2] Gracs, Global Warming, 2023. Available Source: <https://gracz.co.th/blog/post/planet-global-warming>, February 29, 2023. (in Thai)
- [3] Thai PBS, IPCC Warning Slove Global Warming, Available Source: <https://www.thaipbs.or.th/news/content/325765>, March 21, 2023. (in Thai)
- [4] Weather Forecast Division, The Air Temperature of Thailand, Available Source: <https://tmd.go.th/ClimateChart/annual-mean-temperature-in-thailand>, August 4, 2022. (in Thai)
- [5] World BANK GROUP, 2021, Climate Risk Country Profile "Thailand", the World Bank Group, Washington, DC, 26 p.
- [6] Land Development Department, 2021, Landuse of Thailand, Available Source: http://www1.ddd.go.th/web_OLP/result/landuse2562-2564.htm, August 21, 2020. (in Thai)
- [7] KASIKORN Research Center Company Limited, How to Decreass Greenhouse Gas Emissions, Available Source: <https://www.thaipost.net/columnist-people/538920/>, February 22, 2024. (in Thai)

- [8] Prachachat Business Online, The "Nakhon Sawan" Investment Business Sector Invests Tens of Billions into the Lower Northern Hub., [Online]. Available Source : <https://icons.co.th/newsdetail.asp?lang=TH&page=newsdetail&newsno=1092549>, August 21, 2020. (in Thai)
- [9] Prachachat Business Online, Regional Real Estate News, Available Source: <https://www.reic.or.th/News/RealEstate/453719> , May 31, 2023. (in Thai)
- [10] Phengphit, N., 2016, Estimation of Land Surface Temperture from Satellite Data, Rayong Province, Thailand, Master Thesis, Burapha University, Chon buri, 157 p. (in Thai)
- [11] Singhaburachan, S., Urban Heat Island, Available Source: <https://uatscimath.ipst.ac.th/2021/article-biology/item/11239-urban-heat-island>, June 3, 2020. (in Thai)
- [12] Rodrigues de Almeida, C., Teodoro, A. C., and Gonçalves, A. (2021). Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing Data/Techniques: A systematic review. *Environment*, 8(10): 1-39.
- [13] S. Liang, X. Li, and J. Wang, *Advanced Remote Sensing*. San Diego, USA: Academic Press, 2012.
- [14] Qin, Z. And Karnieli, A., 2001, Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region, *Int. J. Remote Sens.* 22(18): 3719-3746.
- [15] Jimenez-Munoz, J. C. and Sobrino, J. A., 2003, Generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data, *J. Geophys. Res.* 108(D22): 1-9.
- [16] Cristóbal, J., Jimenez-Munoz, J.C., Prakash, A., Mattar, C., Skoković, D. and Sobrino, J. A., 2018, An improved single-channel method to retrieve land surface temperature from the landsat-8 thermal band, *Remote Sens.* 10(3): 1-14.
- [17] Glinsopon, P., lamtrakul, P., Menarin, S. and Siewwuttanagu, S., 2013, Assessing the Effects of Surface Temperatures in Different Urban Climate Zones of Bangkok Metropolitan Regions (BMR), *Built Environment Research Associates Associates Conference, BERAC 4*, Pathum Thani, (in Thai)
- [18] Siewwuttanagul, S. and lamtrakul, P., 2013, A Study of Factors Contributing on Urban Heat Islands in Bangkok, *Built Environment Research Associates Associates Conference, Pathum Thani*, (in Thai)
- [19] Soy tong, P., Janchidfa, K., Phengphit, N. and Chayhard, S., 2017, Urban Heat Island and Greenhouse effect in Eastern Seaboard, *Research Report*, Burapha University, Chonburi, 160 p. (in Thai)
- [20] Karyati, N E., Sholihah, R I., Panuju, D R., Trisasongko, B H., Nadalia, D. and Iman, L O S., 2022, Application of landsat-8 OLI/TIRS to assess the urban heat Island (UHI), *Earth Environ. Sci*, 1109(2022): 1-8

- [21] Melis INALPULAT, 2023, Comparison of different supervised classification algorithms for mapping paddy rice areas using landsat 9 imageries, TJNS, 12(3): 52-59.
- [22] U.S. Survey Geological, 2022, Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI) -Thermal Infrared Sensor (TIRS) Collection 2 (C2) Level 2 (L2) Data Format Control Book (DFCB), Department of the Interior, USA, 5 p.
- [23] Meteorological Department. (2013). Climatological data of Thailand for 30-year period (1981-2010). Climatological Center, Bangkok. (in Thai).
- [24] Srivanit, M. and lamtrakul, P., 2019, Spatial patterns of greenspace cool islands and their relationship to cooling effectiveness in the tropical city of Chiang Mai, Thailand, Environ. Monit. Assess. 191: 1-16.
- [25] Mhokprakhon, M. and Chaiyakarm,T., 2023, Estimation of land surface temperature in northeast, Thailand using multi - temporal satellite imageries, Burapha Sci. J. 28(1): 136-154. (in Thai)
- [26] Phengphit, N., Jaisa-ard, W. and Uchanapai, C., 2020, Application of remote sensing for studying influence between greenareas and land surface temperature, a case study of Nakhon Sawan Municipality Area, Thai Science and Technology Journal (TSTJ), 28(8): 1359-1371. (in Thai)