

07

20 ปี ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดิน จากการขยายเมือง ของจังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย Two Decades of Land Surface Temperature Changes from Urban Expansion in Nonthaburi Province, Thailand

สิตา นราโชติกา^a กิตติชัย ดวงมาลัย^{a,✉} อลงกรณ์ อินทรรักษา^a และภาคภูมิ ชูมนี^a
^aสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sita Narachotika^a Kittichai Duangmal^{a,✉} Alongkorn Intaraksa^a and Parkpoom Choomanee^a
^aDepartment of Environmental Science Faculty of Environment Kasetsart University

✉ Kittichai.d@ku.ac.th

วันที่รับ (received) 22 ก.ย.2566 วันที่แก้ไขเสร็จ (revised) 22 ธ.ค. 2566 วันที่ตอบรับ (accepted) 25 ธ.ค.2566

บทคัดย่อ

การศึกษาการครั้งนี้ ใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 8 จำนวน 5 ช่วงเวลา คือ ค.ศ. 2003 2009 2014 2018 2021 ทำการประมวลผลค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินและจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินเป็น 4 ประเภท คือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตร พื้นที่น้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด พบว่า ระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา อุณหภูมิเฉลี่ยของจังหวัดนนทบุรีเพิ่มขึ้น 1.68°C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 3.90°C สิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นมากที่สุดจากร้อยละ 22.04 เป็นร้อยละ 41.16 (เปลี่ยนแปลงร้อยละ 19.12) และพื้นที่เกษตรลดลงมากที่สุดจากร้อยละ 47.99 เป็นร้อยละ 36.17 (เปลี่ยนแปลงร้อยละ 11.82) จากนั้นหาความสัมพันธ์ พบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์โดยตรง พื้นที่เกษตรและพื้นที่น้ำมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน เมื่อวิเคราะห์รายละเอียดพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างกับอุณหภูมิพื้นผิวดินรายปีมีความสัมพันธ์ค่า Pearson Correlation (r) ระหว่าง 0.723-0.936 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในพหุคูณ (R^2) ระหว่าง 0.523-0.877 โดยพบว่าอิทธิพลของน้ำท่วม (ปีที่มีปริมาณฝนมากและเกิดน้ำท่วมในจังหวัดนนทบุรี) มีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิพื้นผิวดิน ผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนการพัฒนาพื้นที่เมือง เช่น การวางผังเมือง การสร้างพื้นที่สีเขียว และแหล่งน้ำในพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่มีความหนาแน่นที่เป็นพื้นที่กว้าง

คำสำคัญ : มอุณหภูมิพื้นผิวดิน สิ่งปกคลุมดิน การขยายเมือง

Abstract

This study uses Landsat 5 and Landsat 8 satellite data from five periods: 2003, 2009, 2014, 2018, and 2021. It applies soil surface temperature data and classifies land cover into four types: Urban and Built-up areas, Agricultural land, Water Bodies, and Miscellaneous land. Over the past 20 years, Nonthaburi Province has experienced an average temperature increase of 1.68°C , with the average maximum temperature rising by 3.90°C . The distribution of land cover has seen community areas and buildings expand by 19.12% while agricultural areas decreased by 11.82%. The relationship between land cover and soil surface temperature reveals direct associations for community areas/buildings and inverse connections for agricultural and water areas. Correlation analysis between community areas/buildings and annual land surface temperature presents strong Pearson Correlation values (r) ranging from 0.723 to 0.936 and multiple determination coefficients (R^2) ranging from 0.523 to 0.877. Instances of flooding in Nonthaburi Province coincided with decreased land surface temperatures. The study's findings suggest strategies for future urban planning, emphasizing smart urban design, green space integration, and incorporation of water areas within densely populated regions.

Keywords : Land surface temperature, Land cover, Urban expansion

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ที่รุนแรงมากขึ้นจะเห็นได้ชัดจากการนำเสนอข่าวผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการรณรงค์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้น สะท้อนถึงอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อการดำรงชีวิตทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยอุณหภูมิที่สูงมากและต่ำมากจะส่งผลกระทบต่อขอบเขตสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ซึ่งมีค่าขอบเขตระหว่าง 22-27 °C (Phaeng Wiang, 2014; Chaukaew, 2018; Krikrung, 2023) ซึ่งในช่วงระหว่าง ค.ศ. 2000-2019 จากสถานที่ทั้งหมด 750 แห่งทั่วโลก พบว่า ทุกหนึ่งทศวรรษอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกจะเพิ่มสูงขึ้น 0.26 °C และทวีปเอเชียมีผู้เสียชีวิต 224,000 รายต่อปี และคาดว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีก (Thairath, 2017; MGR Online, 2021)

การพัฒนาเมืองและการเปลี่ยนแปลงของประเทศไทยจากเดิมที่เป็นเศรษฐกิจการเกษตรเป็นเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสังคมและระบบโครงสร้างพื้นฐาน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่มีการแปรผันตามธรรมชาติเป็นทุนเดิมและมีกิจกรรมของมนุษย์เป็นปัจจัยเสริม (Paluka, Kitikat, Khamsingnok, Ongarch & Phosri, 2016) จากการศึกษาอุณหภูมิในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ ค.ศ. 1991 – 2020 ช่วงเดือนธันวาคม ถึง กุมภาพันธ์ อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26-28 °C และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32-34 °C อยู่บริเวณพื้นที่ภาคกลางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (Meteorological Department, 2023) ซึ่งจากการศึกษาการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างร้อยละ 30 ใน ค.ศ. 1991 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 55 ใน ค.ศ. 2016 โดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 °C บริเวณอาคารที่มีความหนาแน่นสูงและไม่มีพื้นที่สีเขียว อุณหภูมิพื้นผิวดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่พื้นที่สีเขียวมีแนวโน้มลดลง (Khamchiangta & Dhakal, 2020)

การศึกษานี้ที่วิวัฒนาการและการขยายตัวของความร้อนพื้นผิวในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ค.ศ. 2000-2019 ของ Bentley, Sae-Jung, Kaminski & Kesavawong (2020) พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวดินในพื้นที่กรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑลเพิ่มขึ้นมากกว่า 5 °C ในช่วงระยะเวลา 20 ปี เกิดบริเวณด้านนอกเมืองไปทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือตามถนนทางหลวง ซึ่งเป็นด้านจังหวัดนนทบุรีและจากการศึกษาของ Adulkongkaew, Satapanajaru, Charoen hirunyingyos & Singhi runnusorn, (2020) ได้มีการศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบสิ่งปกคลุมดินและโครงสร้างอาคารต่ออุณหภูมิพื้นผิวดินในเมืองที่ขยายตัว กรณีศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า สัดส่วนประเภทของสิ่งปกคลุมดินมีความสัมพันธ์อย่างมากกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน ซึ่งอุณหภูมิพื้นผิวดินมีการแปรผันโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุพื้นผิว โดยจะมีผลกระทบต่อค่าการถ่ายโอนและการเคลื่อนที่ของพลังงาน

จังหวัดนนทบุรี เป็นจังหวัดในเขตปริมณฑลมีประชากรหนาแน่นเป็นอันดับ 2 ของประเทศรองจากกรุงเทพมหานคร ใน ค.ศ. 2003 พื้นที่ที่เคยเป็นสวนผลไม้และไร่นามีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินตั้งแต่ ค.ศ. 2009-2021 เพื่อรองรับการขยายตัวด้านอุตสาหกรรม จากการปรับตัวเพิ่มขึ้นของรายได้ของผู้ประกอบการค้าขยายตัวร้อยละ 2.0 ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของประชากรใน ค.ศ. 2021 ร้อยละ 4.13 จาก ค.ศ. 2003 จึงทำให้การผลิตภาคบริการเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มของจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือนเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเฉพาะพื้นที่ของอำเภอเมืองนนทบุรี อำเภอปากเกร็ด อำเภอบางใหญ่ อำเภอบางบัวทอง มีการจัดสรรที่ดินและก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นอย่างหนาแน่น (National Statistical Office, 2021; Office of the Nonthaburi Provincial, 2022; Department of Provincial Administration, 2023) จึงเป็นที่มาของการศึกษาสิ่งปกคลุมดินที่มีผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวดินในพื้นที่จังหวัดนนทบุรี การศึกษานี้ทำให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องสิ่งปกคลุมดิน และเป็นแนวทางในการวางผังเมืองในอนาคต ตลอดจนการติดตามการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อป้องกันและลดผลกระทบต่อสุขภาพการดำรงชีวิตของมนุษย์

วัตถุประสงค์

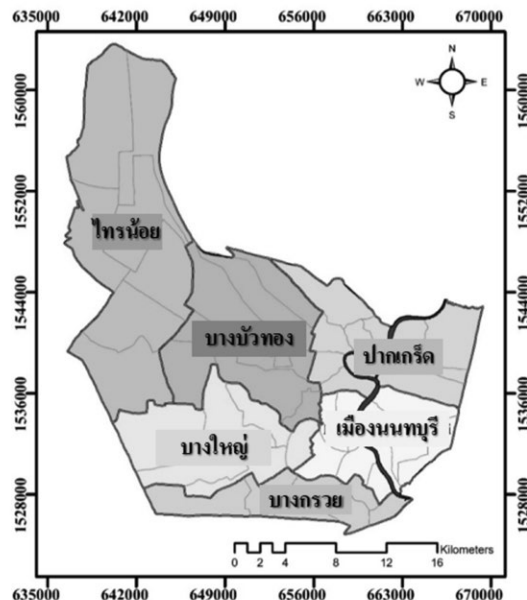
1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดิน ของจังหวัดนนทบุรีในระยะเวลาประมาณ 20 ปี ตั้งแต่ ค.ศ. 2003-2021
2. เพื่อวิเคราะห์ประเภทสิ่งปกคลุมดินที่ส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวดิน และเสนอแนะแนวทางการใช้ประโยชน์ของข้อมูลในอนาคต

วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ (Analytical research) ด้วยวิธีการวิจัยเชิงอธิบาย (Explanatory research) ด้วยการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่และเชิงปริมาณ มีรายละเอียด ดังนี้

ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

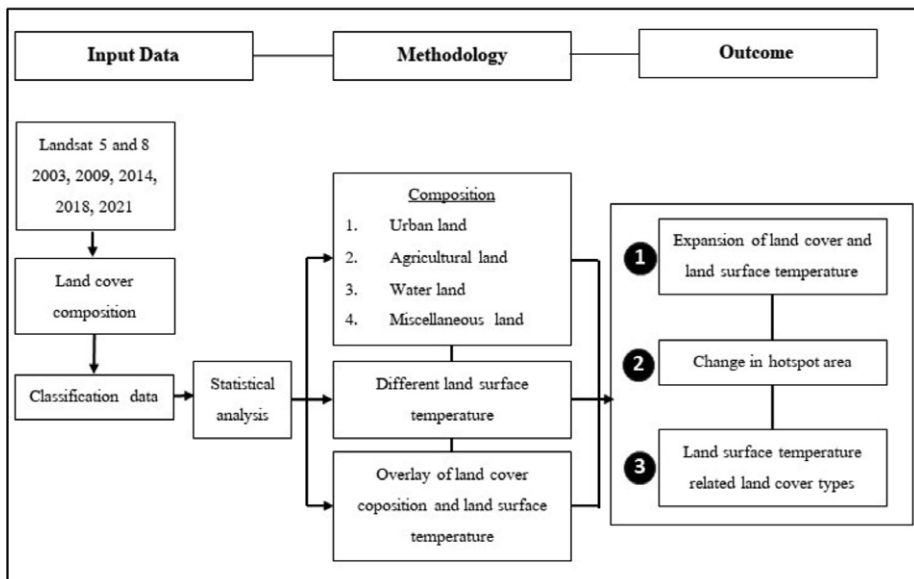
พื้นที่จังหวัดนนทบุรี มีพื้นที่ 636.37 ตารางกิโลเมตร แบ่งการปกครองส่วนภูมิภาคออกเป็น 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองนนทบุรี อำเภอบางกรวย อำเภอบางใหญ่ อำเภอบางบัวทอง อำเภอไทรน้อย และอำเภopakเกร็ด ครอบคลุมพื้นที่ 52 ตำบล ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 20 กิโลเมตร ตั้งอยู่บนเส้นรุ้งที่ 13 องศา 47 ลิปดา ถึง เส้นรุ้งที่ 14 องศา 04 ลิปดาเหนือ เส้นแวงที่ 100 องศา 15 ลิปดา ถึง 100 องศา 34 ลิปดาตะวันออก มีลักษณะภูมิประเทศ แบ่งพื้นที่จังหวัดออกเป็น 2 ส่วน คือ ฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา (Office of the Nonthaburi Provincial, 2022) และอุณหภูมิสภาพอากาศอยู่ที่ 22 ถึง 31°C (WeatherSpark, 2023) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1: พื้นที่ศึกษา

กรอบแนวคิดการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ การศึกษาข้อมูลที่ได้มาจากภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 และดาวเทียม Landsat 8 โดยการประมวลผลแบ่งเป็น 2 ส่วน 1) อุณหภูมิพื้นผิวดิน ใช้ข้อมูลอุณหภูมิในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนจัดเก็บในรูปของค่าเชิงเลข (digital number) 2) การจำแนกสิ่งปกคลุมดิน

จากการผสมสีภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยช่วงคลื่นที่ 1-7 ทำให้สามารถนำมาจำแนกจากการจับกลุ่มชั้นข้อมูล และสามารถกำหนดตัวอย่างของข้อมูลได้ (Training Area) วิเคราะห์ความแตกต่างของวัตถุด้วยเทคนิคการจำแนกข้อมูลแบบควบคุม (Supervised classification) สิ่งปกคลุมดิน 5 ประเภท จากกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2012 ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่น้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ซึ่งในพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกได้ 4 ประเภท คำนวณการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดิน จะได้ข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ จากนั้นจึงนำมาแบ่งชั้นข้อมูล (Reclassification) และใช้ข้อมูลทั้งสองส่วนจากการประมวลผลมาหาความสัมพันธ์ของข้อมูล ด้วยการวิเคราะห์สมการเชิงเส้น (Linear Regression) ซึ่งทำให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2: กรอบแนวคิดงานวิจัย

ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 การดาวน์โหลดภาพถ่ายจากเว็บไซต์

การรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 แสดงในตารางที่ 1 โดยดาวเทียม Landsat 5 ระบบ Thematic Mapper (TM) มีช่วงคลื่น visible ความละเอียดภาพ 30 เมตรและช่วงคลื่น Thermal ความละเอียดภาพ 120 เมตร มีการกวาดรับข้อมูลใน 2 ทิศทาง เพื่อจะช่วยลดอัตราการกวาด (scan rate) ให้ความถูกต้อง ด้านข้อมูลเชิงคลื่น (radiometric) ช่วยลดการสูญหายของความเข้มของรังสี และภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) และ Thermal Infrared Sensor (TIRS) โดย OLI วัดในส่วนที่มองเห็นได้ ไกลอินฟราเรด และอินฟราเรดคลื่นสั้น (VNIR, NIR และ SWIR) ของสเปกตรัม TIRS วัดอุณหภูมิพื้นผิวดินในแถบความร้อนสองแถบด้วยเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ฟิล์มสควอนต์ในการตรวจจับความร้อน 30 เมตร และ 100 เมตร (The National Aeronautics and Space Administration, n.d.; United States Geological Survey, 2022)

การดาวน์โหลดภาพถ่ายจากเว็บไซต์ United States Geological Survey (USGS; <https://earthexplorer.usgs.gov/>) เลือกชุดข้อมูล Collection 1 มีการตรวจจับการแผ่รังสีและตำแหน่งพิกัด มีการประมวล

ผลภูมิประเทศที่แม่นยำและได้รับการสอบเทียบระหว่างเซ็นเซอร์ Landsat USGS สำหรับการวิเคราะห์ห่อนุกรมเวลาในอนาคต เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนแบบภาพต่อภาพอยู่ที่ เท่ากับหรือน้อยกว่า 12-meter radial root mean square error (RMSE) ใช้ในการประมวลผลหาค่าอนุกรมพื้นที่ผิวดินและจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษาเฉพาะในฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ และต้องมีสัดส่วนเมฆปกคลุมน้อยที่สุดทั้งหมด 5 ช่วง ได้แก่ ค.ศ. 2003 2009 2014 2018 และ 2021 เนื่องจากเป็นช่วงปีที่มีการเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน

ตารางที่ 1: ข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา

ID	Date	Time	Land cloud cover (%)
LC08_L1TP_129050_20211222_20211229_01_T1	22/12/2021	10:38:05 a.m.(GMT+7)	0.13
LC08_L1TP_129050_20180213_20180222_01_T1	13/02/2018	10:37:35 a.m. (GMT+7)	0.16
LC08_L1TP_129050_20140117_20170426_01_T1	17/01/2014	10:38:54 a.m. (GMT+7)	0.67
LT05_L1TP_129050_20090119_20161028_01_T1	19/01/2009	10::22:56 a.m. (GMT+7)	1.00
LT05_L1TP_129050_20031205_20161203_01_T1	5/12/2003	10:16:17 a.m. (GMT+7)	1.00

ขั้นตอนที่ 2 การจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน (Classification of land use and land cover types)

การจำแนกสิ่งปกคลุมดินด้วยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในช่วงคลื่น 1-7 ความละเอียดที่ 30 เมตร สามารถแบ่งสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 4 ประเภท จากกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2012 ได้แก่ Urban and Built upland หรือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (City, Town, Commercial, Village, Institutional land, Transportation, Communication and Utility , Industrial land) Agricultural land หรือ พื้นที่เกษตรกรรม (Paddy field, Field crop, Perennial, Horticulture, Orchard) Water Body หรือ พื้นที่น้ำ (Natural and built water body) and Miscellaneous land หรือ พื้นที่เบ็ดเตล็ด (Rangeland, Bare soil, Marsh and Swamp) (Khamchiangta et al., 2020) แสดงในตารางที่ 2 และใช้เทคนิค supervised method with Maximum Likelihood classifier เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลโดยการพิจารณาค่าเฉลี่ย (Mean) และเมทริกซ์ความแปรปรวน (Covariance Matrix) ของแต่ละประเภทข้อมูล ซึ่งมีสมมติฐานให้แต่ละประเภทข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) และคำนวณจากความน่าจะเป็นสูงสุดของแต่ละจุดภาพในการจัดกลุ่มประเภทข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด (Anongchai, 2018)

จากนั้น พิจารณาความถูกต้องภาพถ่ายดาวเทียม ค.ศ. 2003 2009 2014 2018 2021 ด้วยคำสั่ง Create Accuracy Assessment Points (Spatial Analyst) ในโปรแกรม QGIS ซึ่งเป็นการสร้างจุดสุ่มตัวอย่างสำหรับการประเมินความแม่นยำหลังการจำแนกประเภท โดยการอ้างอิงแหล่งที่มาที่เชื่อถือได้ จาก Google Earth Pro ด้วยหลักการ error matrix ของข้อมูลทั้งหมดและความถูกต้องของผู้ใช้ (A California State University Campus, 2019; Ruenrom, Srivanit & Amchuen, 2022) ประกอบด้วยค่าความถูกต้องของภาพรวม

สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ Kappa สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2 พบว่า ค่าความถูกต้องของภาพรวม การจำแนกสิ่งปกคลุมดินอยู่ที่ร้อยละ 88 ร้อยละ 82 ร้อยละ 82 ร้อยละ 94 และร้อยละ 94 ตามลำดับ และค่าทางสถิติ Kappa อยู่ที่ 0.83 0.69 0.72 0.91 และ 0.90 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 3-7 ซึ่งข้อมูลที่ทำการศึกษาบางส่วนมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยระหว่างพื้นที่แหล่งน้ำและเกษตรกรรมเนื่องจากการทำนาข้าว

ตารางที่ 2: การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
U พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (Urban)	U1 ตัวเมืองและย่านการค้า
	U2 หมู่บ้าน
	U3 สถานที่ราชการและสถาบันต่าง ๆ
	U4 สถานีคมนาคม
	U5 ย่านอุตสาหกรรม
	U6 อื่นๆ
A พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural)	A1 นาข้าว
	A2 พืชไร่
	A3 ไม้ยืนต้น
	A4 ไม้ผล
	A5 พืชสวน
	A6 ไร่หมุนเวียน
	A7 ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์
	A8 พืชนา
F พื้นที่ป่าไม้ (Forest)	F1 ป่าดิบ
	F2 ป่าผลัดใบ
	F3 ป่าเลน
	F4 ป่าพรุ
	F5 สวนป่า
W พื้นที่น้ำ (Water Body)	W1 แหล่งน้ำธรรมชาติ
	W2 แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น
M พื้นที่เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous)	M1 ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ
	M2 พื้นที่ลุ่ม
	M3 เขื่อนกั้นน้ำบ่อขุด
	M4 อื่น ๆ

ที่มา: Niamnacha & Butsonthia, 2014

$$\text{ค่าความถูกต้องของภาพรวม} = (\text{จำนวนตัวอย่างที่ถูกต้อง} / \text{จำนวนทั้งหมด}) * 100 \quad (1)$$

$$\text{Kappa หรือ ค่าความสอดคล้อง} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (2)$$

เมื่อ $\sum_{i=1}^r x_{ii}$ คือ ผลรวมความถี่ของเส้นทแยงมุม
 $\sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})$ คือ ผลรวมความถี่ของแถว คูณ ผลรวมความถี่ในสดมภ์

ตารางที่ 3: การประเมินความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ค.ศ. 2003

ระดับชั้น (ClassValue)	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่เกษตรกรรม	พื้นที่น้ำ	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	ทั้งหมด	ความถูกต้องภาพรวม (U_Accuracy)
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	9.00	-	-	1.00	10.00	0.90
พื้นที่เกษตรกรรม	-	21.00	-	-	21.00	1.00
พื้นที่น้ำ	-	3.00	4.00	1.00	8.00	0.50
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	1.00	-	-	10.00	11.00	0.91
ทั้งหมด	10.00	24.00	4.00	12.00	50.00	-
ความถูกต้องของผู้ใช้ (P_Accuracy)	0.90	0.88	1.00	0.83	-	0.88

ตารางที่ 4: การประเมินความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ค.ศ. 2009

ระดับชั้น (ClassValue)	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่เกษตรกรรม	พื้นที่น้ำ	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	ทั้งหมด	ความถูกต้องภาพรวม (U_Accuracy)
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	12.00	1.00	-	1.00	14.00	0.86
พื้นที่เกษตรกรรม	-	27.00	-	-	27.00	1.00
พื้นที่น้ำ	3.00	2.00	2.00	1.00	8.00	0.25
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	1.00	-	-	-	1.00	-
ทั้งหมด	16.00	30.00	2.00	2.00	50.00	-
ความถูกต้องของผู้ใช้ (P_Accuracy)	0.75	0.90	1.00	-	-	0.82

ตารางที่ 5: การประเมินความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ค.ศ. 2014

ระดับชั้น (ClassValue)	พื้นที่ชุมชนและ สิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่เกษตรกรรม	พื้นที่น้ำ	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	ทั้งหมด	ความถูกต้องภาพรวม (U_Accuracy)
พื้นที่ชุมชนและ สิ่งปลูกสร้าง	13.00	-	1.00	2.00	16.00	0.81
พื้นที่เกษตรกรรม	-	22.00	-	-	22.00	1.00
พื้นที่น้ำ	-	2.00	1.00	-	3.00	0.33
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	2.00	2.00	-	5.00	9.00	0.56
ทั้งหมด	15.00	26.00	2.00	7.00	50.00	-
ความถูกต้องของผู้ใช้ (P_Accuracy)	0.87	0.85	0.50	0.71	-	0.82

ตารางที่ 6: การประเมินความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ค.ศ. 2018

ระดับชั้น (ClassValue)	พื้นที่ชุมชนและ สิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่ เกษตรกรรม	พื้นที่น้ำ	พื้นที่ เบ็ดเตล็ด	ทั้งหมด	ความถูกต้องภาพรวม (U_Accuracy)
พื้นที่ชุมชนและ สิ่งปลูกสร้าง	17.00	2.00	-	-	19.00	0.89
พื้นที่เกษตรกรรม	-	22.00	-	-	22.00	1.00
พื้นที่น้ำ	-	-	5.00	-	5.00	1.00
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	1.00	-	-	3.00	4.00	0.75
ทั้งหมด	18.00	24.00	5.00	3.00	50.00	-
ความถูกต้องของผู้ใช้ (P_Accuracy)	0.94	0.92	1.00	1.00	-	0.94

ตารางที่ 7: การประเมินความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ค.ศ. 2021

ระดับชั้น (ClassValue)	พื้นที่ชุมชนและ สิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่ เกษตรกรรม	พื้นที่น้ำ	พื้นที่ เบ็ดเตล็ด	ทั้งหมด	ความถูกต้องภาพรวม (U_Accuracy)
พื้นที่ชุมชนและ สิ่งปลูกสร้าง	23.00	1.00	-	-	24.00	0.96
พื้นที่เกษตรกรรม	1.00	18.00	-	-	19.00	0.95
พื้นที่น้ำ	-	-	4.00	-	4.00	1.00
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	-	-	1.00	2.00	3.00	0.67
ทั้งหมด	24.00	19.00	5.00	2.00	50.00	-
ความถูกต้องของผู้ใช้ (P_Accuracy)	0.96	0.95	0.80	1.00	-	0.94

ขั้นตอนที่ 3 การประมวลผลค่าอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Land surface temperature determination)

การหาอุณหภูมิพื้นผิวดินใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในช่วงคลื่น thermal ความละเอียดอยู่ที่ 120 เมตร และ 100 เมตร ตามลำดับ การคำนวณหาอุณหภูมิความส่องสว่าง (Conversion to TOA Radiance) ตามสมการที่ 3 Adulkongkaew et al., (2020) การหาอุณหภูมิบรรยากาศ (Brightness Temperature) แสดงในสมการที่ 4 (Chander, G., & Markham, 2003) และหาอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Land Surface Temperature) แสดงในสมการที่ 5 (Paul, P. U., & Roger, 2012) เมื่อได้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวดินแล้ว จึงใช้คำสั่ง zonal statistic เพื่อทำการดึงข้อมูลเชิงตัวเลขจากภาพถ่ายดาวเทียมตามขอบเขตจังหวัด อำเภอ ตำบล และใช้ค่าที่ได้ในการหาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวดิน

Conversion to TOA Radiance

$$L_\lambda = M_L Qcal + A_L \quad (3)$$

เมื่อ L_λ คือ ค่าอุณหภูมิความส่องสว่าง M_L คือ ค่าตัวแปรสำหรับการคูณเฉพาะแบนด์ (radiance multi band) มีค่าคงที่ 0.0003342 A_L คือ ค่าการสะท้อนพื้นผิวนบนพื้นโลกต่ำที่สุด (radiance add band) มีค่าคงที่ 0.1 ทั้งสองได้จากไฟล์ Metadata ของดาวเทียม และ $Qcal$ คือ ค่าเชิงเลขของช่วงคลื่น

Brightness Temperature

$$TB = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad (4)$$

เมื่อ TB เป็นอุณหภูมิบรรยากาศ (Kelvin) K_1 และ K_2 เป็นค่าคงที่ของ Thermal Infrared band โดย Landsat 5 เท่ากับ $607.76 \text{ Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ และ $1,260.56 \text{ Kelvin}$ ตามลำดับ ส่วน Landsat 8 เท่ากับ $774.89 \text{ Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ และ $1,321.08 \text{ Kelvin}$ ตามลำดับ L_λ เป็นค่าอุณหภูมิความส่องสว่าง

Land Surface Temperature

$$T = TB / [1 + (\lambda * TB / C2) * \ln(e)] \quad (5)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิพื้นผิวดิน (Celsius) λ คือ ความยาวคลื่นที่แผ่รังสีออกมา TB คือ อุณหภูมิบรรยากาศ $C2$ เท่ากับ $1.4388 * 10^{-2} \text{ m K}$ H คือ ค่าคงที่ของ Planck เท่ากับ $6.626 * 10^{-34} \text{ J s}$ ส่วน s คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann เท่ากับ $1.38 * 10^{-23} \text{ J/K}$ c คือ ความเร็วแสง (m/s) และ e คือ การแผ่รังสีของพื้นผิวดิน (Land surface emissivity)

ขั้นตอนที่ 4 การหาความสัมพันธ์ด้วยสถิติ (Statistical analysis)

ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินใช้ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยการ Zonal statistic ในโปรแกรม GIS จากนั้นนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ด้วย Linear regression analysis เป็นวิธีการประเมินความสัมพันธ์เชิงเส้นที่เป็นไปได้ระหว่างตัวแปรอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 ค่าสัมประสิทธิ์เป็นศูนย์ บ่งชี้ว่าไม่มีความ

สัมพันธเชิงเส้นระหว่างตัวแปร หากมีความสัมพันธ์กันค่าสัมประสิทธิ์จะยิ่งเข้าใกล้ ± 1 หากค่าสัมประสิทธิ์เป็นจำนวนบวก ตัวแปรจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรง ในทางกลับกัน หากค่าสัมประสิทธิ์เป็นจำนวนลบ ตัวแปรจะมีความสัมพันธ์กันแบบผกผัน สามารถพิจารณา ดังแสดงในตารางที่ 8 (Schober, Boer & Schwarte, 2018)

ตารางที่ 8: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	ความหมาย (Interpretation)
0.00–0.10	ไม่มีความสัมพันธ์ (Negligible correlation)
0.10–0.39	มีความสัมพันธ์น้อยมาก (Weak correlation)
0.40–0.69	มีความสัมพันธ์น้อย (Moderate correlation)
0.70–0.89	มีความสัมพันธ์มาก (Strong correlation)
0.90–1.00	มีความสัมพันธ์มากที่สุด (Very strong correlation)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นที่ผิวดินและสิ่งปกคลุมดิน ของจังหวัดนนทบุรีในระยะเวลาประมาณ 20 ปี ตั้งแต่ ค.ศ. 2003-2021

จังหวัดนนทบุรี มีพื้นที่ 636.37 ตารางกิโลเมตร ในภาพรวมระยะเวลาประมาณ 20 ปี ตั้งแต่ ค.ศ. 2003-2021 มีอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากถึง 1.68°C และสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชุ่มชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 19.12 ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่น้ำและพื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลง คิดเป็นร้อยละ 11.82 4.41 และ 2.90 ตามลำดับ นอกจากนี้ในช่วง ค.ศ. 2014 (ช่วงหลังเหตุการณ์น้ำท่วม ค.ศ. 2011) อุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.31°C จาก ค.ศ. 2009 และมีอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 3°C จาก ค.ศ. 2009 แสดงในตารางที่ 9 โดยอุณหภูมิพื้นผิวดินและพื้นที่ชุ่มชนและสิ่งปลูกสร้างที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดระหว่าง ค.ศ. 2009-2014 สอดคล้องกับผลการศึกษา Expansion of the City VS. Reduction of Durian Plantation in Nonthaburi Province ของ Thongpan (2019) และบันทึกวิวัฒนาการและการขยายตัว ของความร้อนพื้นผิวในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ค.ศ. 2000-2019 ของ Bentley et al., (2020) พบว่า อุณหภูมิผิวดินบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเพิ่มสูงขึ้น โดยเกิดบริเวณด้านนอกเมืองตามถนนทางหลวงทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือเชื่อมกับจังหวัดนนทบุรี ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวภายหลังน้ำท่วมใหญ่ใน ค.ศ. 2011 สวนผลไม้และพื้นที่เกษตรกรรมหลายแห่งไม่สามารถผลิตผลผลิตได้เพียงพอต่อการจำหน่าย เนื่องจากไม้ผลต้องใช้เวลาในการปลูกถึงให้ผลผลิตประมาณ 5 ปี ประชาชนจึงขายที่ดินแก่นายทุนเพื่อพัฒนาโครงการที่อยู่อาศัยจึงเกิดการเปลี่ยนจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่ชุ่มชนและสิ่งปลูกสร้างอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้พื้นที่ชุ่มชนและสิ่งปลูกสร้าง ระหว่าง ค.ศ. 2003-2009 มีสัดส่วนลดลงค่อนข้างมาก การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ประเภทอื่น ๆ ร้อยละ 47.96 ของพื้นที่ และการเปลี่ยนเป็นพื้นที่น้ำมากที่สุดร้อยละ 31.73 ของพื้นที่ ซึ่งไม่ได้เกิดจากปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในภาคกลางอยู่ที่ 1,402.9 มิลลิเมตรต่อปี จากจำนวนวันที่ฝนตก 118 วัน แต่จะมีเหตุการณ์น้ำท่วมก่อนหน้านี้

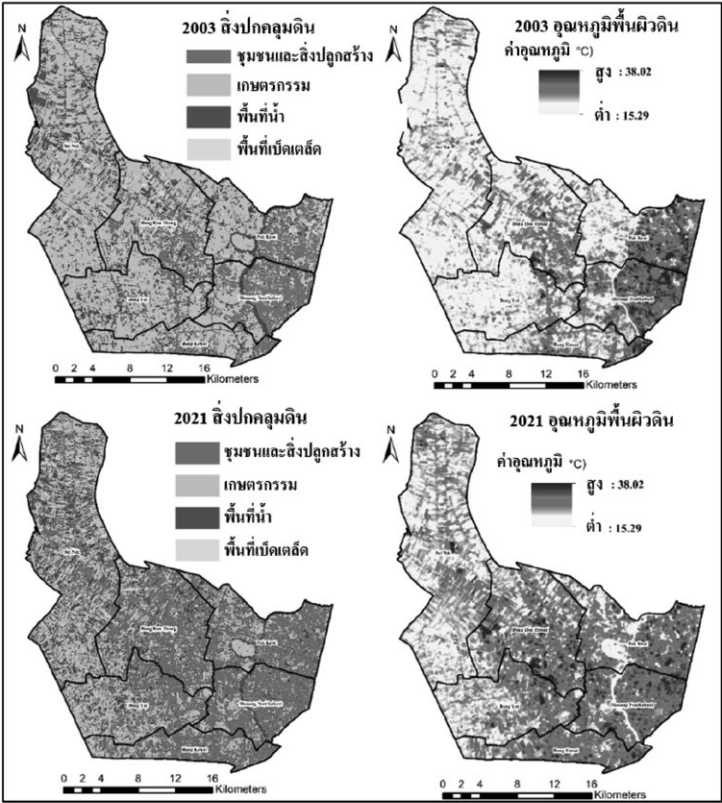
ในเดือนตุลาคม 2009 ที่มีฝนตกในพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลาง อาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่จังหวัดนนทบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ลงมา รองรับน้ำจากตอนเหนือของประเทศ (Hydro Informatics Institute, 2020; MGR online, 2021; Water Resources Information Institute, 2023) และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดินตามขอบเขตพื้นที่อำเภอนนทบุรี ค.ศ. 2021 พบว่า อำเภอเมืองจังหวัดนนทบุรี มีอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงที่สุดอยู่ที่ 28.25°C และมีพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมากที่สุดร้อยละ 56.21 ของพื้นที่ ส่วนอุณหภูมิพื้นผิวดินที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในระยะเวลา 20 ปี คือ อำเภอบางใหญ่ มีการเปลี่ยนแปลง 2.10°C มีสัดส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่เบ็ดเตล็ดเพิ่มขึ้นร้อยละ 21.53 และ 5.92 ตามลำดับ และพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่น้ำลดลงร้อยละ 22.61 และ 4.84 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมากที่สุด คือ ร้อยละ 24.91 เกิดขึ้นในพื้นที่อำเภอบางกรวย มีอุณหภูมิพื้นผิวดินเพิ่มขึ้น 1.89°C แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างต่ออุณหภูมิพื้นผิวดิน การเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นผลจากการรองรับการขยายตัวของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างของกรุงเทพมหานครตามเส้นทางคมนาคมเพื่อเชื่อมชุมชนหลักกับชุมชนเมืองรอบนอก แสดงรายละเอียดในตารางที่ 10 และ ภาพที่ 3 สอดคล้องกับผลการศึกษาแนวคิดความเป็นเมืองและกระบวนการกลายเป็นเมืองของประเทศไทย (Kuantart & Thinphangnga, 2003)

ตารางที่ 9: การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินในจังหวัดนนทบุรี ค.ศ. 2003 ถึง ค.ศ. 2021

ปี (year)	อุณหภูมิพื้นผิวดิน (Land surface temperature) ($^{\circ}\text{C}$)		สิ่งปกคลุมดิน (Land cover Area) (%)			
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ชุมชนและ สิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่ เกษตรกรรม	พื้นที่น้ำ	พื้นที่เบ็ดเตล็ด
2003	34.12	26.01 (± 1.47)	22.04	47.99	13.00	16.97
2009	33.76	24.68 (± 1.63)	18.84	61.02	22.85	3.36
2014	36.66	25.99 (± 1.61)	38.89	49.60	8.48	9.09
2018	36.23	27.88 (± 1.54)	37.92	48.91	9.94	9.28
2021	38.02	27.69 (± 1.31)	41.16	36.17	8.59	14.08
ความแตกต่าง 2003-2021	3.90	1.68	19.12	-11.82	-4.41	-2.89

ตารางที่ 10: การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินรายอำเภอในจังหวัดนนทบุรี

พื้นที่ศึกษา (อำเภอ)	พื้นที่ (ตาราง กิโลเมตร)	อุณหภูมิ พื้นผิวดิน (Land surface temperature) (°C)	สิ่งปกคลุมดิน (Land cover Area) (%)								
			2003				2021				
		2003	2021	U	A	W	M	U	A	W	M
เมืองนนทบุรี	73.79	27.16	28.25	44.62	24.30	8.40	22.68	56.21	27.05	4.61	12.12
ปากเกร็ด	93.64	26.33	27.67	25.72	38.63	13.03	22.62	46.64	34.05	6.47	12.83
บางใหญ่	93.31	25.44	27.54	11.47	65.31	14.68	8.54	33.00	42.70	9.84	14.45
บางบัวทอง	119.58	25.86	27.82	21.42	47.60	11.25	19.73	44.40	32.28	8.15	15.16
บางกรวย	54.67	26.23	28.12	21.42	52.22	10.22	16.14	46.33	37.84	2.64	13.19
ไทรน้อย	201.36	25.06	26.77	7.61	59.86	20.39	12.14	20.39	43.08	19.83	16.70



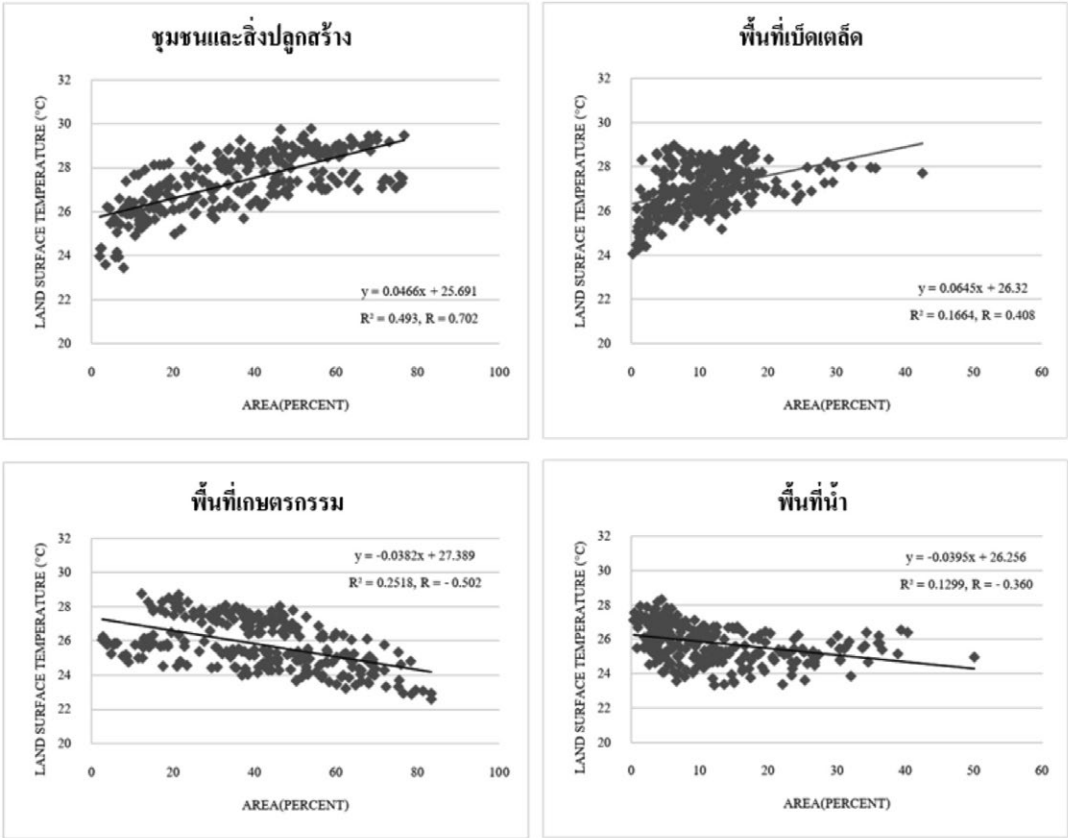
ภาพที่ 3: การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินจังหวัดนนทบุรีในปี 2003 และ 2021

ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ประเภทสิ่งปกคลุมดินที่ส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวดิน และเสนอแนะแนวทางการใช้ประโยชน์ของข้อมูลในอนาคต

การศึกษาในวัตถุประสงค์นี้เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ของสัดส่วนขอบเขตพื้นที่ที่มีผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวดิน โดยหากกำหนดขอบเขตที่แคบลงจะทำให้สามารถเห็นจุดความร้อนที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ประเภทสิ่งปกคลุมดินที่ส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวดินพิจารณาจากพื้นที่สิ่งปกคลุมดินระดับตำบล เพื่อหาสัดส่วนพื้นที่สิ่งปกคลุมดินที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวดิน โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ทั้ง 52 ตำบล ใน ค.ศ. 2003 2009 2014 2018 2021 รวมจำนวนตัวอย่าง 1,040 ตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างแบ่งตามประเภทสิ่งปกคลุมดิน 4 ประเภท ประเภทละ 260 ตัวอย่าง ตารางที่ 10 พบว่า ทุกประเภทของสิ่งปกคลุมดินมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความสอดคล้องมาก (<0.05) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 27.35 พื้นที่เกษตรกรรมมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 25.82 พื้นที่น้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 25.77 และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 27.02 เมื่อพิจารณาจากค่า Pearson Correlation (r) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีค่า $r = 0.702$ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวดินมากในลักษณะแบบ Strong positive correlation และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีค่า $r = 0.408$ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวดินในลักษณะแบบ Moderate positive correlation บ่งชี้ว่าตัวแปรจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน และพื้นที่เกษตรกรรมมีค่า $r = -0.502$ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวดินในลักษณะแบบ Moderate negative correlation และพื้นที่น้ำ มีค่า $r = -0.360$ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวดินในลักษณะแบบ Weak negative correlation บ่งชี้ว่า ตัวแปรจะมีความสัมพันธ์กันแบบผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน ดังนั้น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิพื้นผิวดินมากที่สุด แต่พื้นที่เกษตรกรรมมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวดินมากที่สุด หมายความว่า ถ้าพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวดินจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ถ้าพื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นอุณหภูมิพื้นผิวดินจะลดลง แสดงในภาพที่ 4 ซึ่งการมีพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่มีจำนวนมาก หมายความว่า พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์มีความสัมพันธ์กับลักษณะการก่อสร้างที่เป็นหมู่บ้านจัดสรร โดยวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างภายนอกส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตมีความจุความร้อนจำเพาะ 840 ถึง 1,170 J/kg-K (Howlader, Rashid, Mallick & Haque, 2012) ส่วนพืชพรรณในพื้นที่เกษตรกรรมมีความจุความร้อนจำเพาะอยู่ที่ 1,255 ถึง 5,174 J/kg-K (M. S, D. J. & J. Philip, 2010) จะเห็นได้ว่าคอนกรีตนั้นมีความร้อนจำเพาะน้อยกว่าพืชพรรณ ทำให้คอนกรีตร้อนกว่าพืชพรรณ เนื่องจากความจุความร้อนจำเพาะส่งผลต่อการสะสมความร้อนและการถ่ายโอนความร้อน โดยความจุความร้อนจำเพาะที่น้อยจะสะสมความร้อนได้น้อยและร้อนเร็วกว่า และทำให้ผู้ที่สัมผัสรู้สึกร้อนโดยเฉพาะบริเวณจุดศูนย์กลางของจุดความร้อน ที่สะสมความร้อนไว้มากที่สุดและแผ่กระจายออกสู่บริเวณรอบนอก หากมีขนาดพื้นที่ประเภทนี้มากขึ้นจะทำให้มีอุณหภูมิพื้นผิวดินที่เพิ่มขึ้น ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ดหรือพื้นที่ที่เปดโล่ง เป็นพื้นที่ที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินและมีพื้นผิวเป็นลักษณะดินเปล่าได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง จึงดูดซับความร้อนไว้มาก ส่งผลให้ในบริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิพื้นผิวที่สูงขึ้น (Wongwan & Pongsawat, 2023) ซึ่งอุณหภูมิพื้นผิวดินเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ความเป็นอยู่ที่ดีและหากเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอาจนำไปสู่การเจ็บป่วยที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างพื้นผิวดินที่ปกคลุมและชั้นบรรยากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในภูมิภาค (Zhu et al., 2022)

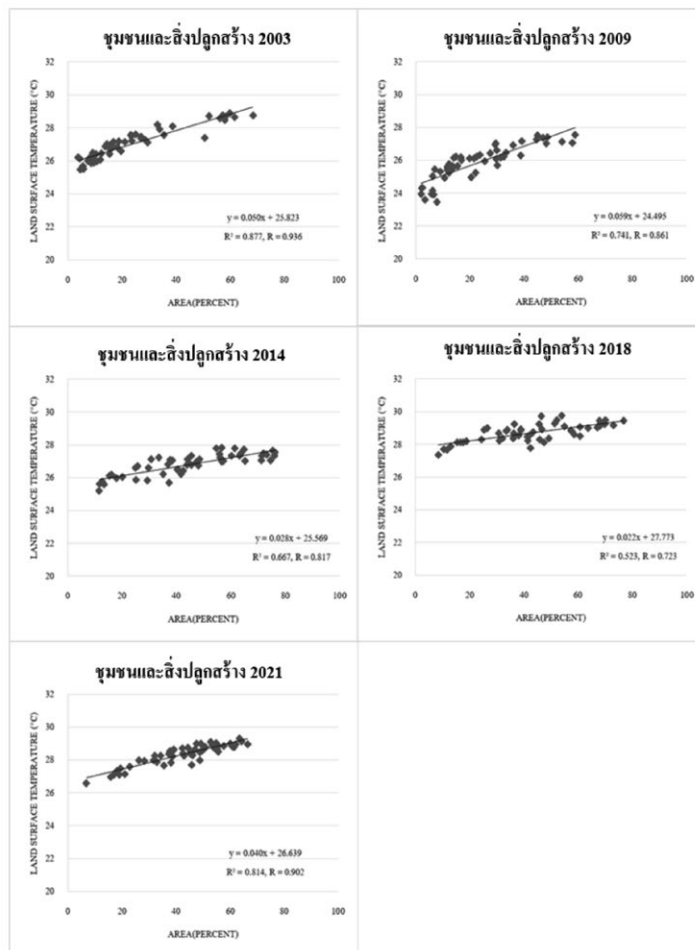
ตารางที่ 10: จำนวนตัวอย่างที่ใช้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิพื้นผิวดิน

ปี ประเภทพื้นที่	2003	2009	2014	2018	2021	รวมทั้งหมด
ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (Urban)	52	52	52	52	52	260
พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural)	52	52	52	52	52	260
พื้นที่น้ำ (Water Body)	52	52	52	52	52	260
พื้นที่เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous)	52	52	52	52	52	260
รวมทั้งหมด (Total)	208	208	208	208	208	1040



ภาพที่ 4: ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดิน ปี ค.ศ. 2003-2021

ความสัมพันธ์อุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวดินมาก ในลักษณะแบบ Strong positive correlation จึงทำการทดสอบความสัมพันธ์จากตัวอย่างขอบเขตระดับตำบล 52 ตำบล ในแต่ละปี พบว่า มีค่า Pearson Correlation (r) ระหว่าง 0.723-0.936 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในพหุคูณ (R²) ระหว่าง 0.523-0.877 แสดงในภาพที่ 5 โดยมีข้อสังเกตว่า ค.ศ. 2018 มีค่าความสัมพันธ์ต่ำที่สุด มีค่า Pearson Correlation (r) เท่ากับ 0.723 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในพหุคูณ (R²) เท่ากับ 0.523 ทั้งนี้เป็นผลจากอิทธิพลของสถานการณ์น้ำใน ค.ศ. 2018 ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 1,768.2 มิลลิเมตร จำนวนวันที่ฝนตก 131 วัน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 75.7 สภาพอากาศวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2018 อุณหภูมิอยู่ในระดับต่ำสุดอยู่ที่ 21.50 °C เวลา 7.00 น. (กำลังสบาย) เวลาที่ตรงกับภาพถ่ายดาวเทียม 10.30 น. มีอุณหภูมิอยู่ที่ 28 °C (อุ่น) และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสูงสุดอยู่ที่ 31 °C เวลา 13.30 น. (ระดับร้อน) จนถึงช่วง 18.30 น. อุณหภูมิจึงลดลง มีปริมาณเมฆปกคลุมบางส่วนร้อยละ 40-60 (partly cloudy) จุดน้ำค้างอยู่ที่ 18 °C (อบอ้าวถึงร้อนอบอ้าว) ทิศนวิสัย 9.90 กม. ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 113.43 มิลลิเมตร ในเดือนกุมภาพันธ์ (Data Innovation and Governance Institute, 2022; Weather Spark, 2023) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการรายงานสำนักข่าว PPTV ตามการคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยาช่วงเปลี่ยนฤดูกาลจะเกิดอากาศแปรปรวน ทำให้เกิดฝนตกหนัก โดยเฉพาะพื้นที่กรุงเทพมหานครเหนือและจังหวัดนนทบุรีจนเกิดน้ำท่วมขังในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2018 ในพื้นที่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี เกิดพายุฝนฟ้าคะนองและมีลมกรรโชกแรง เป็นบริเวณกว้าง นานเกือบ 3 ชั่วโมง มีน้ำท่วมขังสูง 20-50 เซนติเมตร รถยนต์ขนาดเล็กไม่สามารถผ่านไปได้ โดยปริมาณน้ำฝน 24 ชั่วโมง ที่วัดได้สูงสุดอยู่ที่ 97.5 มิลลิเมตร เกินความสามารถการรองรับปริมาณฝนตกสะสมใน 1 วัน (ไม่เกิน 80 มิลลิเมตร) (PPTV online, 2018; MGR online, 2022) จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เห็นว่าสิ่งปกคลุมดินประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน และพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่น้ำมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่เกษตรและพื้นที่น้ำมีการคายระเหยของน้ำ ทำให้มีไอน้ำในอากาศมากกว่าบริเวณที่มีสิ่งปกคลุมดินประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง สอดคล้องกับการศึกษาเรื่องการถ่ายเทความร้อนของการสร้างพื้นที่สีเขียวในเกาะความร้อนกรุงเทพมหานครของ Intaraksa, Chunkao & Bualert, (2014) โดยพบว่า การสร้างพื้นที่สีเขียวร้อยละ 25-75 สามารถช่วยลดความร้อนในเมืองได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวางแผนการพัฒนาพื้นที่ของเมืองเพื่อไม่ให้อุณหภูมิพื้นผิวดินมีความร้อนเกินขอบเขตการอยู่สบายของมนุษย์ได้ เช่น การวางผังเมือง การสร้างพื้นที่สีเขียวและแหล่งน้ำในพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่มีความหนาแน่นที่เป็นพื้นที่กว้าง ซึ่งผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องสิ่งปกคลุมดิน และเป็นแนวทางในการวางผังเมืองในอนาคตที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนา (Vision) “จังหวัดนนทบุรีเป็นเมืองน่าอยู่” (Livable City) ตัวชี้วัดที่ 1(5) ด้านที่อยู่อาศัยและสิ่งแวดล้อม และประเด็นการพัฒนาที่ 3 การสร้างความยั่งยืนของการพัฒนาที่เติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แผนที่ 1 เมืองสีเขียว (Office of the Nonthaburi Provincial, 2023)



ภาพที่ 5: ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิพื้นผิวดินกับสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้างรายปี ช่วงปี ค.ศ. 2003-2021

สรุปผลการศึกษา

จังหวัดนนทบุรี มีขนาดพื้นที่ 636.37 ตารางกิโลเมตร มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินในระยะเวลา 20 ปี ตั้งแต่ ค.ศ. 2003-2021 มีสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นมากที่สุด ร้อยละ 19.12 (จากร้อยละ 22.04 เป็นร้อยละ 41.16) พื้นที่การเกษตรลดลงมากที่สุดร้อยละ 11.82 (จากร้อยละ 47.99 เป็นร้อยละ 36.17) ส่วนพื้นที่น้ำมีการลดลงร้อยละ 4.41 (จากร้อยละ 13.00 เป็นร้อยละ 8.59) และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีการเปลี่ยนแปลงลดลง 2.89 (จากร้อยละ 16.97 เป็นร้อยละ 14.08) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเกิดจากการพัฒนาเมืองของกรุงเทพมหานครที่ขยายตัวขึ้นมาจากทิศเหนือของกรุงเทพมหานครและตามแนวทางหลวงของจังหวัดนนทบุรี ประกอบกับการเกิดน้ำท่วมใหญ่ใน ค.ศ. 2011 ทำให้เกษตรกรที่เป็นชาวสวนไม่สามารถมีผลผลิตการเกษตรเนื่องจากไม่ผลดาลายลงต้องใช้ระยะเวลาในการปลูกใหม่และรอการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 5 ปี และการขยายตัวของเศรษฐกิจ

และการพัฒนาดังกล่าวเกษตรกรจึงขายพื้นที่ให้แก่เกษตรกรเพื่อพัฒนาพื้นที่เป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างโดยอำเภอบางกรวย มีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมากที่สุดคือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 24.91

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวดินในรอบ 20 ปี ของจังหวัดนนทบุรี พบว่า ภาพรวมมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.68°C และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 3.90°C โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่เพิ่มขึ้น และพื้นที่เกษตรและแหล่งน้ำที่ลดลง เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิพื้นผิวดินพบว่าอุณหภูมิพื้นผิวดินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่เบ็ดเตล็ด และมีความสัมพันธ์ผกผันกับสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่น้ำ โดยความสัมพันธ์สูงสุดเกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง โดยมีความสัมพันธ์ค่า Pearson Correlation (r) ระหว่าง 0.723-0.936 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในพหุคูณ (R^2) ระหว่าง 0.523-0.877 ทั้งนี้ข้อมูลการเกิดน้ำท่วมและมีปริมาณน้ำที่มากใน ค.ศ. 2018 จะส่งผลทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างลดลง

จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิพื้นผิวดินและสิ่งปกคลุมดินดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการพื้นที่หรือการวางผังเมืองของพื้นที่ โดยกำหนดประเภทสิ่งปกคลุมดินให้มีความเหมาะสมต่ออุณหภูมิพื้นผิวดินที่อยู่ในขอบเขตความอยู่สบายของมนุษย์ด้วยการวางสัดส่วนและขนาดพื้นที่ประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม แหล่งน้ำและพื้นที่เบ็ดเตล็ด โดยให้คำนึงถึงการเชื่อมต่อของพื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้างที่เป็นผืนใหญ่ เนื่องจากจะมีผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวดินโดยตรง และมีการใช้พื้นที่สีเขียวและพื้นที่น้ำมีค่าระหว่างร้อยละ 25-75 จะช่วยในการลดอุณหภูมิพื้นผิวดินได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ในการพัฒนาเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องสิ่งปกคลุมดินและเป็นแนวทางในการวางผังเมืองในอนาคตที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนา (Vision) “จังหวัดนนทบุรี เป็นเมืองน่าอยู่” (Livable City) ตัวชี้วัดที่ 1(5) ด้านที่อยู่อาศัยและสิ่งแวดล้อม และประเด็นการพัฒนาที่ 3 การสร้างความยั่งยืนของการพัฒนาที่เติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แผนที่ 1 เมืองสีเขียว (Office of the Nonthaburi Provincial, 2023) ตลอดจนการติดตามการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อป้องกันและลดผลกระทบต่อสุขภาพการดำรงชีวิตของมนุษย์โดยประชากรผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไปในจังหวัดนนทบุรี ข้อมูลล่าสุด ค.ศ. 2022 มี 260,885 คน คิดเป็นร้อยละ 43.56 ของจำนวนประชากรทั้งหมดในจังหวัดนนทบุรี (Office of the Registration Administration, 2022) ซึ่งพฤติกรรมของผู้สูงอายุส่วนใหญ่ใช้เวลาอยู่กับที่อยู่อาศัย การเพิ่มพื้นที่สวนสาธารณะ พื้นที่สีเขียวบริเวณรอบ ๆ เพื่อเป็นพื้นที่ทำกิจกรรม จุดนั่งพักในสวนหรือริมทางเดิน เป็นปัจจัยหนึ่งในการตัดสินใจเลือกที่อยู่อาศัยและช่วยส่งเสริมให้ผู้สูงอายุได้มีคุณภาพชีวิตที่ดี (Punyachattaporn, 2021; Mongkolnimit & Jarutach, 2022) นอกจากนี้ในเชิงจิตวิทยาสีเขียวส่งผลให้ทุกคนทุกช่วงวัยสัมผัสความรู้สึกผ่อนคลาย ลดความตึงเครียดและวิตกกังวล ช่วยกระตุ้นอารมณ์ด้านบวก และทำให้รู้สึกสดชื่นมากขึ้น เพียงแค่การเห็นพื้นที่สีเขียวจากบนตึกสูงหรือระหว่างทางไปกลับที่ทำงานบ้านและอาจช่วยลดความหม่นหมองทางอารมณ์ของผู้คนที่ใช้ชีวิตอย่างเร่งรีบได้ (Ruangudomkit, 2023)

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป การศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน แนะนำให้มีการศึกษาในส่วนของปริมาณวัสดุ การนำความร้อน การดูดซับความร้อน และปลดปล่อยความร้อน รวมถึงรูปแบบหรือลักษณะของสิ่งก่อสร้างที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิพื้นผิวดิน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และพิจารณาลักษณะพฤติกรรมของการสร้างที่อยู่อาศัยในจังหวัดนนทบุรี

เอกสารอ้างอิง

- A California State University Campus. (2019). *Accuracy Metrics*. Retrieved August 19, 2022, from http://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/lessons/accuracy/metrics.html.
- Adulkongkaew, T., Satapanajaru, T., Charoen hirunyingyos, S., & Singhi runnusorn, W. (2020). Effect of land cover composition and building configuration on land surface temperature in an urban-sprawl city, case study in Bangkok Metropolitan Area, Thailand. *Heliyon*, 6(8).
- Anongchai, K. (2018). A Land Use Classification By Support Vector Machine Tecnique From Landsat 8 Imagery For Estimation Of Water Consumption In The Area Of Kalasin Thailand. survey engineering (Master of Engineering), Chulalongkorn University: 12.
- Bentley, M. L., Sae-Jung, J., Kaminski, S., & Kesavawong, P. (2020). Documenting the evolution and expansion of surface urban heat in the Bangkok Metropolitan Region, 2000–2019. *Asian Geographer*, 37(2), 171-188.
- Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674-2677.
- Chaukaew, P. (2018). Climate Change And Pollution Prevention Centre Mae Moh, Lampang. architecture (Bachelor of Architecture); Sripatum University, 8-9.
- Data Innovation and Governance Institute. (2022). *Rainfall data in Thailand. In each province*. Retrieved. June 26, 2023, from <https://digi.data.go.th/showcase/thailand-rainfall-data>.
- Department of Provincial Administration. (2023). *Official statistics registration systems*. Retrieved April 25, 2023, from <https://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statMONTH/statmonth/#/mainpage>.
- Howlader, M., Rashid, M., Mallick, D., & Haque, T. (2012). Effects of aggregate types on thermal properties of concrete. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7, 900-907.
- Hydro Informatics Institute. (2020). *Record flood events*. Retrieve December 1, 2023, from <https://tiwrm.hii.or.th/web/index.php/flood-history.html>.
- Intaraksa, A., Chunkao, K., & Bualert, S. (2014). Bowen Ratio Method for Measuring Heat Transfer on Land Cover Change in Establishing Green Patch in Urban Heat Island of Bangkok. *Modern Applied Science*, 8(4), 158-173.
- Khamchiangta, D., & Dhakal, S. (2020). Time series analysis of land use and land cover changes related to urban heat island intensity: Case of Bangkok Metropolitan Area in Thailand. *Journal of Urban Management*, 9(4), 383-395.
- Krikung, K. (2023). Effect Of Learning Activities With The Environmental Science Instructional Model Based On Place-Based Education On The Climate Awareness Of Students In The Environmental Protection Club. Curriculum and teaching (Master of Education Program), Naresuan University: 1-170.

- Kuantart, W., & Thinphangnga, P. (2003). *Urbanisation in Thailand*. Retrieved April 25, 2023, from <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tei.or.th/thaicityclimate/public/research-46.pdf>.
- Jayalakshmy, M. S., & Philip, J. (2010). Thermophysical properties of plant leaves and their influence on the environment temperature. *International Journal of Thermophysics*, 31, 2295-2304.
- Meteorological Department. (2023). *Climate statistics for the 30-year period 1991-2020*. Retrieve December 1, 2023, from <http://climate.tmd.go.th/statistic/stat30y>.
- MGR Online. (2021). *reveals the Chao Phraya Basin water route and channels for following up on the situation Wondering if the water will flood or not?*. Retrieve December 1, 2023, from <https://mgronline.com/onlinesection/detail/9640000095849>.
- MGR Online. (2021). *Thriller!! extreme temperature 5 million people die each year, Asia is the most*. Retrieved April 25, 2023, from <https://mgronline.com/greeninnovation/detail/964000068736>.
- MGR online. (2022). *Governor of Bangkok explains! Flood response plan reveals limits for rain in 1 day, no more than 80 millimeters*. Retrieved April 25, 2023, from <https://mgronline.com/greeninnovation/detail/9640000090347>.
- Mongkolnimit, T., & Jarutach, T. (2022). *Living Conditions Elderly People in Housing Estate a Case Study of Nantawan Housing Estate*. Retrieved. October 10, 2023 from <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/sarasatr/article/view/251394>.
- National Statistical Office. (2021). *Demographic statistics. Population and housing*. Retrieved July 19, 2022, from <http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/01.aspx>.
- Niamnacha, S., & Butsonthia, S. (2014). Comparative study of land cover changes and important difference index values from satellite data in Mueang District. Phitsanulok Province, 1999-2013. Bachelor of Science (Master's thesis), Naresuan University.
- Office of the Nonthaburi Provincial. (2022). *Nonthaburi Province 5-year development plan 2023-2027*. Retrieved. August 19, 2022, from <http://nonthaburi.go.th>.
- Office of the Nonthaburi Provincial. (2023). *Nonthaburi Province 5-year development plan (2023 - 2027), revised edition, fiscal year 2024*. Retrieved. October 10, 2023 from https://ww2.nonthaburi.go.th/news_council15.
- Office of the Registration Administration. (2022). *Thai population Divided by age group by province as of March 2022*. Retrieved. October 10, 2023 from https://www.bora.dopa.go.th/wp-content/uploads/2022/04/pop_age_6503_group.pdf.
- Paluka, K., Kitikat, K., Khamsingnok, K., Ongarch, W., & Phosri, A. (2016). *URBANCLIMATE RESILIENCE*. Retrieved May12, 2023, from <https://www.tei.or.th/thaicityclimate/public/work-7.pdf>.
- Paul, P. U., & Roger, H. (2012). *College Physics. Radiation*. Retrieved April 25, 2023, from <https://openstax.org/books/college-physics/pages/14-7-radiation>.

- Phaeng Wiang, W. (2014). *Comfortable conditions in local*. Retrieve December 1, 2023, from <http://blog.bru.ac.th/wp-content/uploads/bp-attachments/6975/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88-11-%E0%B8%AA%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%B0%E0%B8%99%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%9A%E0%B8%B2%E0%B8%A2.pdf>.
- PPTV online. (2018). *Rain hits "Bangkok-Nonthaburi", flooding in many areas*. Retrieved April 25, 2023, from <https://www.pptvhd36.com/news/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%94%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99/76617>.
- Punyachatporn, W. (2021). A Feasibility Study For A Garden House Residential Development For Elderlies. Real Estate Business (Master Of Science); Thammasat University: 1-135.
- Ruangudomkit, P. (2023). *More than shady Green spaces in cities and their health benefits and improved quality of life*. Retrieved. October 10, 2023 from <https://www.beartai.com/hackforhealth/well-being/1215110>
- Ruenrom, S., Srivanit, M., & Amchuen, N. (2022). Simulation and Prediction of land use using CLUMondo Model in Pattani Province. *The Journal of Spatial Innovation Development (JSID)*, 3(3), 84.
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg*, 126(5), 1763-1768.
- Thairath. (2017). What is? 'Comfortable state' in the house from nature around. Retrieved August 19, 2022, from <https://www.thairath.co.th/lifestyle/home/home-decor/1062854>.
- The National Aeronautics and Space Administration, (n.d) Specifications. Retrieve December 1, 2023, from <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php#4>.
- Thongpan, S. (2019). Expansion of the City VS. Reduction of Durian Plantation in Nonthaburi Province. *Journal of Multidisciplinary Academic Research and Development*. Vol.1, No.2 Retrieved May 10, 2023, from <https://km-ir.arts.tu.ac.th/files/original/c468029f210718dc-cec4887d5e4de3d00dbdcb60.pdf>.
- United States Geological Survey. (2022). *Landsat 7*. Retrieve December 1, 2023, from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7>.
- Water Resources Information Institute. (2023). *following the water situation in the Chao Phraya Basin*. Retrieve December 1, 2023, from <https://tiwrm.hii.or.th/DATA/REPORT/php/chart/chaopraya/small/chaopraya.php>.
- WeatherSpark. (2023). *Climate and average weather conditions throughout the year in Nonthaburi Municipality*. Retrieved on April 25, 2023. from <https://th.weatherspark.com>.
- WeatherSpark. (2023). *Weather conditions in the past*. Retrieve December 1, 2023, from <https://th.weatherspark.com>.

- Wongwan, W., & Pongsawat, S. (2023). Analysis of Correlation between the Land Surface Temperature, the Land-use and Land-Cover in MueangDistrict, Lampang Province. *Pathumwan Academic Journal*, 13(36), 38-53.
- Zhu, Y., Luo, H., Yang, C., Qin, B., Ghosh, P., Kaur, S., Shen, W., Qiu, M., Belov, P. & Li, Q. (2022). Color-preserving passive radiative cooling for an actively temperature-regulated enclosure. *Light: Science and Applications*, 11(1).