



ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับการใช้ที่ดินด้วย ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา อำเภอเมืองอุดรธานี

The Relationship between Surface Temperature and Land Use using Multi-Temporal Remote Sensing Imagery in Muang Udon Thani District

สาวิตรี รตโนภาส สุวรรณลี¹, จตุรงค์ สมอาจ¹, กนต์พิชญ์ เขียวประโคน¹, นิลรัตน์ นวลหงส์¹ และ สนธยา รัตนทิพย์²

Savittri Ratanopad Suwanlee¹, Jaturong Somard¹, Kantaphit Chainprakhon¹,

Ninrat Nuanhong¹ and Sontaya Ratanatip²

¹ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาสร้างสรรค์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมืองและนฤมิตศิลป์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Science, Mahasarakham University

² Research and Creative Design Center, Faculty of Architecture, Urban Design and Creative Arts, Mahasarakham University

Received : 12 May 2020

Revised : 19 June 2020

Accepted : 27 June 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับการใช้ที่ดินและการกระจายตัวของอุณหภูมิพื้นผิวช่วง 22 ปี ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5, 7 และ 8 ระหว่างปี 2540 - 2562 และวิเคราะห์รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิวโดยใช้สถิติสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่กับการใช้ที่ดิน การใช้ที่ดินในการศึกษาครั้งนี้อาศัยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ปี 2562 ด้วยเทคนิคการจำแนกแบบป่าสุ่ม หลังจากนั้นนำข้อมูลการใช้ที่ดินปี 2562 ร่วมกับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยโดยใช้แถบคลื่นอินฟราเรดความร้อน 22 ปี วิเคราะห์รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิวระดับครอบครัว โดยใช้สถิติสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Moran's I) และระดับพื้นที่ โดยใช้วิธี Local G-Statistics และ Local Indication of Association (LISA) ขนาดของตารางกริด 300 x 300 เมตร ผลการศึกษา พบว่า การจำแนกการใช้ที่ดินแบบป่าสุ่ม มีค่าความถูกต้องร้อยละ 87 และพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนเมือง ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวและรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิพื้นผิวช่วง 22 ปี พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.6 °C รูปแบบการกระจายตัวแบบสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่มีรูปแบบการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่มสูงในพื้นที่เมืองและเปิดโล่ง ส่วนผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยกับพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.9641 แสดงถึงข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันสูง

คำสำคัญ : อุณหภูมิพื้นผิว ; การใช้ที่ดิน ; ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ; อำเภอเมืองอุดรธานี



Abstract

This study aimed at investigating the relationship among surface temperature, land use and surface temperature distribution for 22 year period with Landsat satellite imagery 5, 7 and 8 between 1997 – 2019 and analyzing patterns of spatial distribution of surface temperature using spatial autocorrelation together with land use. The study of land use obtained data from satellite of 2019 using random forest (RF). The data on land use in 2019 together with average surface temperature acquired from thermal infrared band for 22 year period was analyzed to identify patterns of spatial distribution of surface temperature for global indicator using spatial autocorrelation (Moran' I), and for local indicator using Local G-Statistics and Local Indication of Association (LISA) with the size of grid of 300 x 300 meters. The results found that in classifying land use RF yielded more accuracy (87%), most of the area was agricultural and urban community area. The analysis of surface temperature changes and patterns of surface temperature distribution for 22 year period indicated that annual average surface temperature increased in average by 6.6°C. The patterns of distribution of global spatial autocorrelation were found to be clustered highest in urban and bare land. The results of the analysis of the relationship between average surface and building area yielded R^2 equal 0.9641 and this indicated the highly degree of correlation of these two sets of data.

Keywords : surface temperature ; land use ; Landsat imagery ; Muang Udon Thani District



บทนำ

จากแผนพัฒนาเมืองอุดรธานี ปี 2561 - 2564 มีเป้าหมายเป็นศูนย์กลางการค้าการลงทุนภาคอุตสาหกรรมอนุภาค ลุ่มแม่น้ำโขง มีการขยายตัวพัฒนาเป็นเมืองเศรษฐกิจการลงทุนภาครัฐและเอกชน การขยายตัวทางเศรษฐกิจประเภทค้าปลีก และค้าส่งเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 2.5 รายได้ต่อหัวประชากรอยู่ที่ 81,182 บาท/คน/ปี เป็นลำดับที่ 4 ของภูมิภาค (Udon Thani Government, 2014) การเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและพื้นที่ที่มีความเหมาะสมที่เอื้อต่อนโยบายการพัฒนา ทำให้พื้นที่เมืองมีการขยายตัวตามถนนใหญ่กระจายจากจุดศูนย์กลางของเมืองอย่างรวดเร็ว การใช้ที่ดินเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรม ป่าไม้เปลี่ยนเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและพื้นที่พาณิชยกรรม (Phuttharak & Dhiravisit, 2014) วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง รูปร่าง เจริญราคาชนิดของเมืองในพื้นที่บริเวณกว้าง เป็นสาเหตุหนึ่งทำให้อุณหภูมิสูงกว่าบริเวณโดยรอบนอก เกิดปรากฏการณ์ เกาะความร้อน ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงจะชัดเจนในตอนกลางคืนมากกว่าตอนกลางวัน เกิดช่วงฤดูหนาวมากกว่า ฤดูร้อน และบริเวณที่ไม่มีลมหรือลมพัดอ่อน (Puansurin, *et al.*, 2018) ดังนั้นการขยายตัวของเมืองไร้ทิศทาง ขาดการวางแผน การใช้ที่ดินให้มีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดความขัดแย้งในการจัดสรรที่ดิน จำนวนประชากรไม่สอดคล้องกับที่ดินที่มีอย่างจำกัด และใช้พื้นที่ไม่คุ้มค่ากับเศรษฐกิจ ส่งผลกระทบทางด้านความรู้ สักคัมและสิ่งแวดล้อม (Marome & Pholcharoen, 2019; Puttharak & Meekaew, 2019)

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิของประเทศไทยระยะเวลาประมาณ 40 ปี (2524 – 2561) มีแนวโน้มสูงขึ้น ในอดีตค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 22°C ขณะที่ตอนกลางวันและกลางคืนอุณหภูมิแตกต่างกันค่อนข้างมาก ในทางกลับกันปัจจุบันมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ระหว่าง 25-30°C ลักษณะอากาศร้อนอบอ้าวทั้งกลางวันและกลางคืน (Thai Meteorological Department, 2019) ปัจจุบันภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ และ Landsat 8 OLI/TIRS เป็นเครื่องมือที่สำคัญเห็นลักษณะข้อมูลบนพื้นผิวโลกและความแตกต่างเชิงพื้นที่ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (Xi, *et al.*, 2018; Keeratikasikorn, 2018) ส่วนใหญ่นำมาศึกษาประเมินคุณภาพและวิเคราะห์ศักยภาพของภาพถ่ายจากดาวเทียมลักษณะ การจำแนกการใช้ที่ดินลักษณะเมือง (F. Fan, *et al.*, 2007; Fu & Weng, 2016; Mohajane *et al.*, 2018; Muttitanon & Tripathi, 2005) ด้วยวิธีการจำแนกแบบป่าสุ่ม (Ghosh, *et al.*, 2014) และความสัมพันธ์อุณหภูมิพื้นผิวและสัดส่วน การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทสิ่งปลูกสร้างที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง เมื่อเปรียบเทียบบริเวณ พื้นที่เมืองมีอุณหภูมิสูง ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ชุมชนและอุตสาหกรรมและอุณหภูมิต่ำเป็นพื้นที่สวนสาธารณะและพื้นที่ นันทนาการ (Fu & Weng, 2016; Rhee, *et al.*, 2014)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับการใช้ที่ดิน 2562 กับการกระจายตัวของอุณหภูมิ พื้นผิวช่วง 22 ปี ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat หลายช่วงเวลา โดยทำการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวโดยใช้แถบ คลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared Band) และวิเคราะห์รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิวโดยใช้สถิติ สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่กับการใช้ที่ดิน งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ใช้วางแผนนโยบายของรัฐ การจัดการต่อการพัฒนาพื้นที่เมือง ให้เหมาะสม เพื่อรองรับปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่เกิดขึ้น นำไปสู่แนวทางในการพัฒนาเมืองแต่ละพื้นที่อย่างยั่งยืน

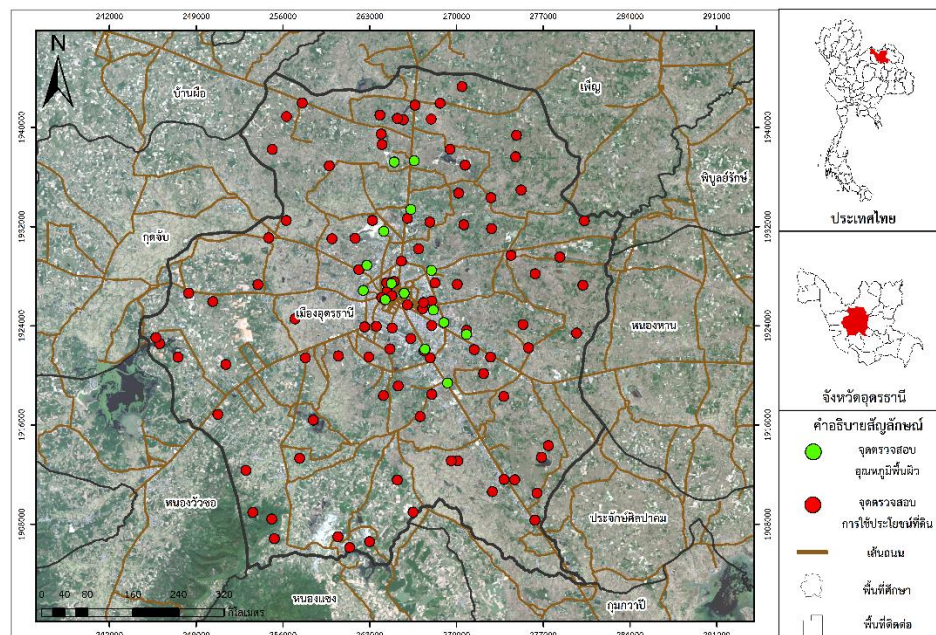
วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่วิจัย คือ บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี มีเนื้อที่รวมทั้งหมด 1,109 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม ลักษณะการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นการเกษตร เนื้อที่ใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่นา พืชไร่ และยางพารา พืชเศรษฐกิจ คือ อ้อยโรงงาน ข้าวนาปี และยางพารา ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบเขตร้อน ช่วงฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงปลายตุลาคม ได้รับอิทธิพลลมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้มีฝนตกชุกมากในเดือนสิงหาคม ปริมาณน้ำฝนวัด 1,400 – 1,600 มิลลิเมตร ช่วงฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ปลายเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ วัดได้ 10 °C ในเดือนธันวาคมได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงปลายเดือนพฤษภาคม อากาศจะร้อนอบอ้าวมากที่สุดในเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิสูงสุดวัดได้ 41 °C อุณหภูมิต่ำวัดได้ 10 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 28 °C ดังภาพที่ 1 (Marome & Pholcharoen, 2019)

2. ขั้นตอนการศึกษา

ทำการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 OLI บันทึกวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2562 เพื่อจำแนกการใช้ที่ดิน และนำข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินปี 2560 จากกรมพัฒนาที่ดินมาใช้ในการอ้างอิงตรวจสอบข้อมูล หลังจากนั้นรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5, 7 และ 8 ปี 2540 - 2562 สามารถดาวน์โหลดภาพจาก <https://earthexplorer.usgs.gov/> เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการกระจายอุณหภูมิพื้นผิว ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 และนำข้อมูลสถิติอุณหภูมิสถานีตรวจวัดจากกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2540 - 2562 จังหวัดอุดรธานี หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัด ใช้ในการอ้างอิงตรวจสอบข้อมูล









ภาพที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat หลายช่วงเวลา

ดาวเทียม	ระบบ	ความละเอียดเชิงพื้นที่	ปี	จำนวนภาพ
Landsat 5	TM	120	2540 - 2554	45
Landsat 7	ETM ⁺	60	2545, 2555	7
Landsat 8	TIRS	100	2556 – 2562	28

นำภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5, 7 และ 8 หลายช่วงเวลา รวมทั้งหมดจำนวน 80 ภาพ ที่มีเมฆต่ำกว่า 4% เพื่อเลือกข้อมูลที่มีคุณภาพมากที่สุดและส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดเชิงรังสีความร้อนน้อยที่สุด จากนั้นทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric correction) และปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) การตรวจสอบข้อมูลจากหน่วยงานสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (Munyati, 2017) จากนั้นทำการลบข้อมูลเมฆด้วยวิธีการ FMask (FM) ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพที่มีความคมชัด ลดความบิดเบือนของจุดภาพถ่าย และตรงกับข้อเท็จจริงบนพื้นผิวโลกตามฤดูกาล นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้ทำการจัดเมฆมาตรวจสอบด้วยวิธีการแปลตีความด้วยสายตาร่วมกับวิธีการยืดเน้นความเปรียบต่าง (Contrast stretch) เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพที่มีความถูกต้องมากที่สุด และ resampling ขนาดกริดภาพถ่ายจากดาวเทียมให้มีค่า 10x10 เมตร ร่วมกับเครื่องมือระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System) (Zhu *et al.*, 2016) อ้างอิงกับค่าพิกัดกริด Universal Transverse Mercator (Coordinate Grid System)

ตารางที่ 2 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5, 7 และ 8 ปี 2540 - 2562 แต่ละฤดูกาล

		 Landsat 5	 Landsat 7	 Landsat 8	 ฤดูฝน	 ฤดูร้อน	 ฤดูหนาว																	
		ปี																						
เดือน	ปี	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
		ม.ค.			✓	✓	✓				✓				✓	✓	✓			✓				✓
ก.พ.			✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓			✓	✓	✓	✓
มี.ค.	✓	✓	✓	✓					✓		✓	✓			✓	✓				✓		✓	✓	✓
เม.ย.						✓			✓					✓									✓	
พ.ค.		✓															✓			✓	✓			
มิ.ย.																								
ก.ค.																								
ส.ค.		✓																						
ก.ย.	✓			✓	✓																			
ต.ค.		✓							✓		✓			✓				✓					✓	
พ.ย.			✓	✓					✓	✓	✓			✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
ธ.ค.						✓	✓	✓	✓		✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การจำแนกการใช้ที่ดิน ปี 2562 ด้วยวิธีการจำแนกป่าสุ่ม (RF) อาศัยหลักการจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน แบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ พื้นที่เกษตรกรรม (A) พื้นที่ป่าไม้ (F) พื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง (U) พื้นที่แหล่งน้ำ (W) และพื้นที่อื่น ๆ (M) โดยสร้างแบบจำลองข้อมูลการเลือกคุณลักษณะแต่ละประเภทจากการสุ่มเลือกกลุ่มตัวอย่างจากชุดโดยใช้กลุ่มต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ผลลัพธ์จากตัวจำแนกของต้นไม้ตัดสินใจนำมาเปรียบเทียบกับค่าความคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น 0.9 หรือ 90% ด้วยการตรวจวัดค่าความคลาดเคลื่อนของ out of bag (OOB) บนพื้นฐานด้วยหลักการ 10-fold validation (Breiman, 2001) เพื่อทำการสร้างแบบจำลองป่าไม้ที่ดีที่สุดในการจำแนกการใช้ที่ดิน ดังนั้นการศึกษาคั้งนี้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Snap Desktop พิจารณาจุดตรวจสอบความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ทำการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เลือกจุดตัวอย่าง 100 จุด (Pronmahakul, 2020)

การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature) จากการสะท้อนและการแผ่รังสีของวัตถุที่มีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกันจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM Landsat 7 ETM⁺ และ Landsat 8 TIRS คำนวณค่ารังสีเชิงคลื่น (Spectral Radiance) จากค่าการสะท้อนแล้วนำค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น คำนวณอุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสี (Absolute radiance temperature) (Anbazhagan & Paramasivam, 2016; Avdan & Jovanovska, 2016) เพื่อหาความสัมพันธ์ช่วงเวลาภาพถ่ายจากดาวเทียมแต่ละฤดูกาลกับอุณหภูมิพื้นผิว ดังสมการที่ 1

$$L_{\lambda} = \frac{(L_{MAXL_{\lambda}} - L_{MINL_{\lambda}})}{(QCALMAX - QCALMIN)} \times (QCAL - QCALMIN) + L_{MINL_{\lambda}} \quad (1)$$

เมื่อ	L_{λ}	คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (Spectral Radiance)
	$L_{MAXL_{\lambda}}$	คือ ค่าการแผ่รังสีสูงสุดของแต่ละแบนด์
	$L_{MINL_{\lambda}}$	คือ ค่าการแผ่รังสีต่ำสุดของแต่ละแบนด์
	$QCALMAX$	คือ ค่าเชิงตัวเลขสูงสุดของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม
	$QCALMIN$	คือ ค่าเชิงตัวเลขต่ำสุดของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม
	DN	คือ ค่าเชิงตัวเลขของแต่ละจุดภาพ (Digital Number)

การคำนวณอุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสี (Absolute radiance temperature) จากค่ารังสีเชิงคลื่น (Spectral Radiance) เพื่อแปลงค่าเป็นอุณหภูมิมองศาเซลเซียส ดังสมการที่ 2

$$T = \frac{k^2}{\ln\left(\frac{k^1}{L_{\lambda}}\right) + 1} \quad (2)$$



เมื่อ	T	คือ ค่าอุณหภูมิจากหน่วยเคลวิน
	L_λ	คือ ค่าอุณหภูมิจากการแผ่รังสี (เคลวิน)
	K^1	คือ ของ Landsat 5 TM แบนด์ 6 คือ 607.76
	K^2	คือ ค่าคงที่ของ Landsat 5 TM แบนด์ 6 คือ 1260.56
	K^1	คือ ค่าคงที่ของ Landsat 7 TM แบนด์ 6 คือ 666.09
	K^2	คือ ค่าคงที่ของ Landsat 7 TM แบนด์ 6 คือ 1282.71
	K^1	คือ ค่าคงที่ของ Landsat 8 TIR 1 แบนด์ 10 คือ 774.88
	K^2	คือ ค่าคงที่ของ Landsat 8 TIR 1 แบนด์ 10 คือ 1321.07

การวิเคราะห์รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิวโดยใช้สถิติสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Moran's I) ปี 2540 - 2562 โดยการสร้างตารางกริดขนาด 300 x 300 เมตร ทำการเปรียบเทียบ 3 วิธี คือ 1) สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่แบบครอบคลุม (Global Spatial Autocorrelation) ผลการวัดค่ามี 3 รูปแบบ คือ ค่าที่ใกล้เคียง +1 คือ แบบกลุ่ม (Cluster) ค่าที่ใกล้เคียง -1 คือ แบบกระจาย (Disperse) ค่าที่ใกล้เคียง 0 คือ แบบสุ่ม (Random) 2) สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่แบบเฉพาะ (Local Spatial Autocorrelation) ด้วยวิธี Local G-Statistic ผลการวัดค่าเป็นการระบุพื้นที่ที่เกิดจากตัวแปรสูงและพื้นที่ที่เกิดจากตัวแปรต่ำ รูปแบบเกาะกลุ่มสูงหรือเรียกว่า "Hot spot" มีการเกาะกลุ่มกัน มีค่ามากกว่า 1.96 ส่วนบริเวณที่มีการเกาะกลุ่มต่ำเรียกว่า "Cold spot" มีค่าน้อยกว่า -1.96 และ 3) สหสัมพันธ์แบบ Local Indication of Association (LISA) เป็นความสัมพันธ์พื้นที่ที่สนใจมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ที่อยู่รอบ ๆ ค่าเป็นบวก หมายถึง พื้นที่ที่สนใจมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ที่อยู่รอบ ๆ และมีการจัดตัวกันเป็นกลุ่มค่าเป็นลบ หมายถึง ค่าของตำแหน่งการเกิดนอกกลุ่มหรือไม่อยู่ในกลุ่ม (Goodchild, 1986; Dai, *et al.*, 2010) จุดตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เลือกจุดตัวอย่าง 15 จุด จากข้อมูลการใช้ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้าง การตรวจสอบความถูกต้องสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) โดยตัวใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยแถบคลื่นอินฟราเรดมาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลสถิติอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัด ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากเข้าใกล้ 1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจะสัมพันธ์กันมาก แสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมนั้นมีความน่าเชื่อถือ (Rhee, *et al.*, 2014) ดังสมการที่ 4

$$R^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

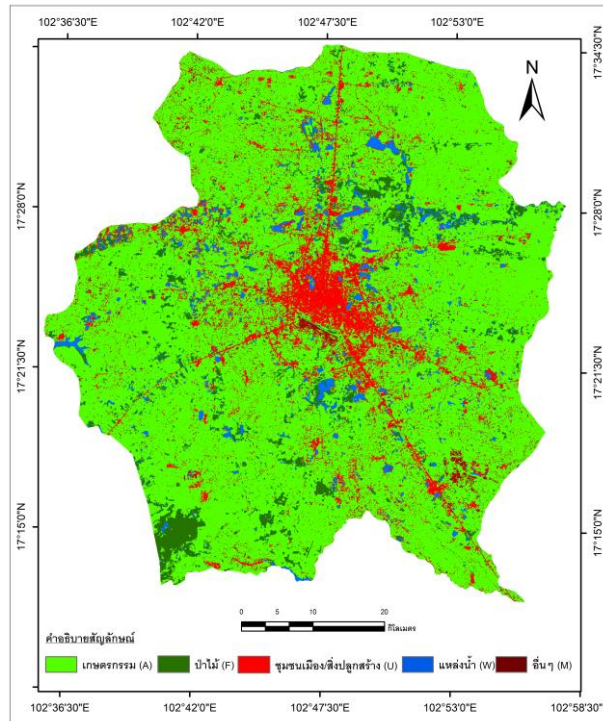
เมื่อ	R^2	หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
	Y	หมายถึง ตัวแปรตาม
	\bar{Y}	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม
	Σ	หมายถึง ผลรวม

**ผลการวิจัย****1. การจำแนกการใช้ที่ดิน**

ผลการจำแนกการใช้ที่ดิน ปี 2562 ด้วยเทคนิคการจำแนกแบบป่าสุ่ม โดยทำการประเมินความถูกต้องโดยรวมของแผนที่การจำแนกการใช้ที่ดินด้วยค่าความคลาดเคลื่อนแบบเมตริกซ์ มีค่า 87% ดังตารางที่ 3 และประเภทลักษณะการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 879.13 ตารางกิโลเมตร (79.21%) รองลงมาชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง 95.81 ตารางกิโลเมตร (8.63%) พื้นที่ป่าไม้ 70.07 ตารางกิโลเมตร (6.31%) พื้นที่แหล่งน้ำ 39.78 ตารางกิโลเมตร (3.58%) พื้นที่อื่น ๆ 25.05 ตารางกิโลเมตร (2.26%) และ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน ค่าความถูกต้องโดยรวมจากแผนที่การใช้ที่ดิน ปี 2562

การใช้ที่ดิน	A	F	U	W	M	Total
เกษตรกรรม (A)	18	1	0	0	1	20
ป่าไม้ (F)	4	16	0	0	0	20
ชุมชนเมือง/สิ่งปลูกสร้าง (U)	2	0	18	0	0	20
แหล่งน้ำ (W)	0	1	0	19	0	20
อื่นๆ (M)	2	0	2	0	16	20
ผลรวม (Total)	26	18	20	19	17	
ค่าความถูกต้องโดยรวม 87%						



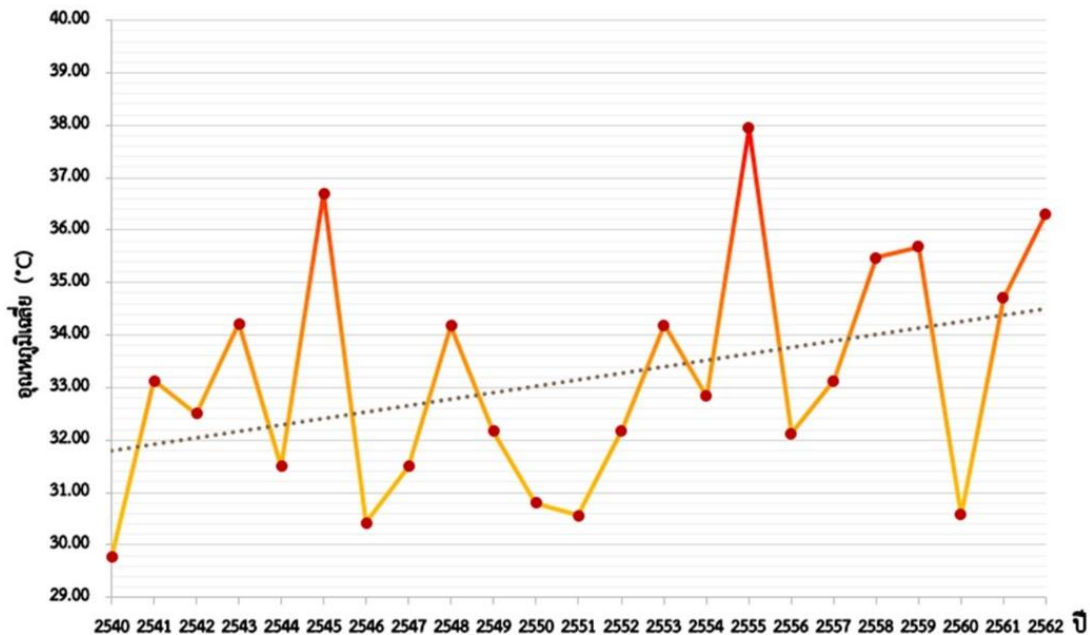
ภาพที่ 2 การใช้ที่ดินเมืองอุดรธานี ปี 2562

จากภาพที่ 2 ลักษณะการใช้ที่ดินด้านเกษตรกรรม ส่วนใหญ่เน้นการผลิตข้าวเป็นหลัก ส่วนพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างกระจุกอยู่บริเวณย่านธุรกิจการค้าและบริการกลางใจเมืองบริเวณวงเวียนและห้าแยก มีแหล่งน้ำที่สำคัญคืออ่างเก็บน้ำหนองประจักษ์ หนองบัว และหนองสิงห์ โดยพื้นที่รอบ ๆ แหล่งน้ำเป็นพื้นที่นันทนาการขนาดใหญ่ นอกจากนี้สถาบันราชการ ได้แก่ สถาบันการศึกษา โรงพยาบาล เป็นต้น ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญของทิศทางการขยายตัวของชุมชนเมือง นอกจากนี้การพัฒนาเส้นทางคมนาคมหลักไปจนถึงพื้นที่เขตชานเมือง ทำให้ประชาชนเริ่มย้ายถิ่นฐานมาตั้งบ้านเรือนบริเวณรอบ ๆ ใจกลางเมือง เพราะการเข้าถึงสะดวกมีถนนรอบ ๆ วงเวียน สามารถเดินทางไปสถานที่สำคัญ การขยายตัวตามเส้นทางคมนาคมที่เชื่อมต่อระหว่างจังหวัดอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ ไปยังจังหวัดสกลนครและจังหวัดขอนแก่น และมีห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ ส่วนทิศตะวันตกของถนนรอบวงเวียนมีพื้นที่ชุมชนเป็นหมู่บ้านจัดสรรมีรูปแบบการจัดกระจาย การเติบโตค่อนข้างน้อย เนื่องจากอยู่ใกล้กับสนามบินและพื้นที่เขตทหาร

2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิว

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลาระยะเวลา 22 ปี ตั้งแต่ปี 2540 อุณหภูมิพื้นผิวมีค่า 29.8 °C ถึงปี 2562 มีอุณหภูมิพื้นผิวมีค่า 36.4 °C อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.6 °C เมื่อทำการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวกับการเกิดสภาวะโลกร้อนกับการผันแปรภูมิอากาศ พบว่า อุณหภูมิสูงเฉลี่ยในปี 2545 (36.8 °C) 2555 (38 °C) และ 2562 (36.4 °C) แนวโน้มอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 2 °C พบช่วงปรากฏการณ์เอลนีโญที่มี

อุณหภูมิสูงกว่าปกติ และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในปี 2551(30.6°C) 2556 (32°C) และ 2560 (30.6°C) แนวโน้มอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 1.4 °C พบช่วงปรากฏการณ์ลานีญามีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ ดังภาพที่ 3

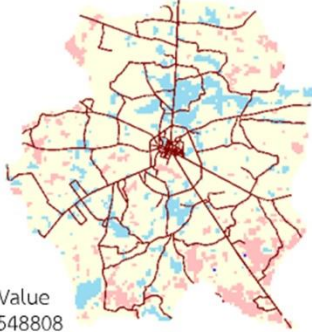
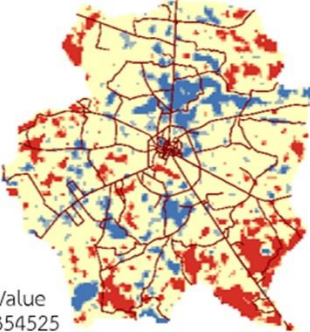
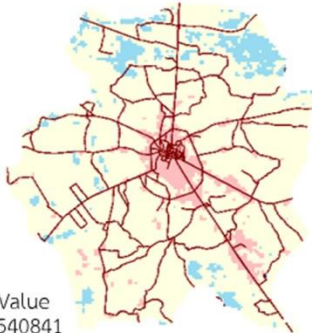
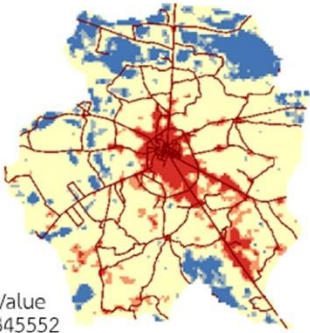

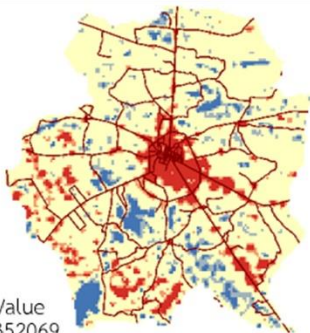


ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ปี 2540 – 2562

3. รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิพื้นผิวตามฤดูกาล

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิพื้นผิวตามฤดูกาลด้วยสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระดับครอบคลุม (Global Moran's I) ปี 2540 - 2562 มีค่าเป็นบวกทุกฤดูกาล แสดงว่ามีรูปแบบกระจายเชิงพื้นที่ที่มีการเกาะกลุ่ม (Clustered) จากภาพที่ 4 และ ตารางที่ 4 ส่วนผลวิเคราะห์รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิวตามฤดูกาลระดับพื้นที่ (Local Moran's I) โดยใช้วิธี Local G-Statistics และ Local Indication of Association (LISA) พบว่า ฤดูร้อน มีค่าการกระจายอุณหภูมิแบบเกาะกลุ่มต่ำ - ต่ำ (LL) ผลของการวัดค่าความสัมพันธ์วิธีการแบบ Local G-Statistics มีค่าการเกาะกลุ่มต่ำ (Low spot) บริเวณใจกลางเมืองขยายตัวไปทางทิศเหนือ ส่วนช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว มีค่าการกระจายอุณหภูมิแบบเกาะกลุ่มสูง - สูง (HH) ผลของการวัดค่าความสัมพันธ์วิธีการแบบ Local G-Statistics พบว่า ค่าการเกาะกลุ่มสูง (High spot) บริเวณใจกลางเมืองและขยายตัวทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ตามเส้นทางคมนาคม



ฤดูกาล	Anselin Local Moran's I	G-Statistics	Global Spatial Autocorrelation		
ฤดูร้อน	 P-Value 0.548808	 P-Value 0.354525	0.80 Clustered		
ฤดูฝน	 P-Value 0.540841	 P-Value 0.345552	0.77 Clustered		
ฤดูหนาว	 P-Value 0.560017	 P-Value 0.352069	0.81 Clustered		
คำอธิบายสัญลักษณ์ <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> กลุ่มสูง-สูง (HH) กลุ่มต่ำ-ต่ำ (LL) กลุ่มสูง-ต่ำ (HL) กลุ่มต่ำ-สูง (LH) ไม่มีค่า </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> การเกาะกลุ่มกันของค่าสูง การเกาะกลุ่มกันของค่าต่ำ ไม่มีค่า </td> </tr> </table>				<ul style="list-style-type: none"> กลุ่มสูง-สูง (HH) กลุ่มต่ำ-ต่ำ (LL) กลุ่มสูง-ต่ำ (HL) กลุ่มต่ำ-สูง (LH) ไม่มีค่า 	<ul style="list-style-type: none"> การเกาะกลุ่มกันของค่าสูง การเกาะกลุ่มกันของค่าต่ำ ไม่มีค่า
<ul style="list-style-type: none"> กลุ่มสูง-สูง (HH) กลุ่มต่ำ-ต่ำ (LL) กลุ่มสูง-ต่ำ (HL) กลุ่มต่ำ-สูง (LH) ไม่มีค่า 	<ul style="list-style-type: none"> การเกาะกลุ่มกันของค่าสูง การเกาะกลุ่มกันของค่าต่ำ ไม่มีค่า 				

ภาพที่ 4 รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิวตามฤดูกาลโดยใช้สถิติสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Moran's I)

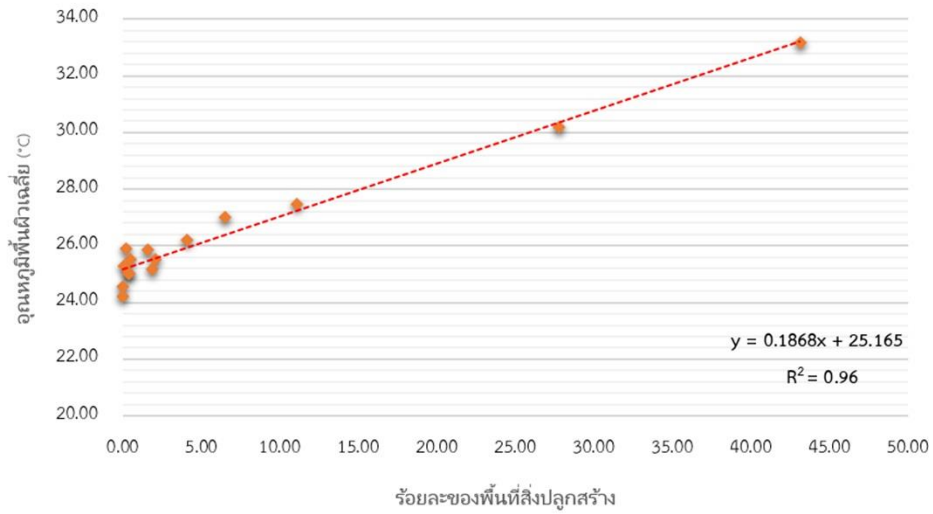


ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ดัชนีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระดับครอบคลุม (Global moran's I) ปี 2540-2562

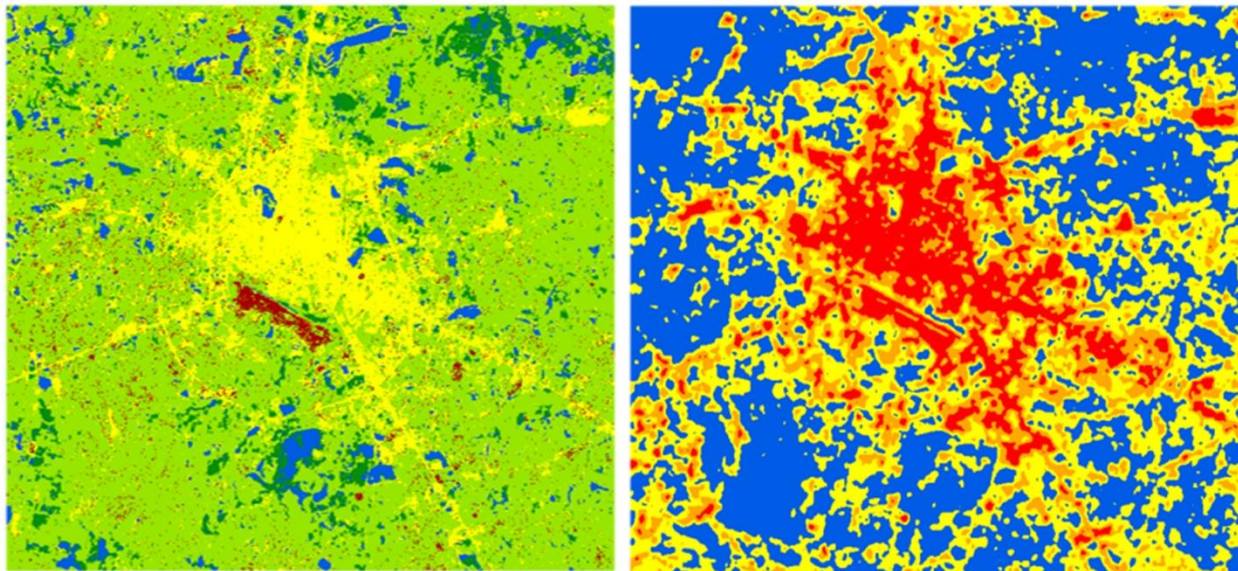
เดือน	ปี																						
	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
ม.ค.			0.67	0.67	0.68				0.68				0.66	0.85	0.67			0.70				0.68	0.69
ก.พ.			0.74	0.69	0.90	0.68		0.76	0.78		0.92	0.83	0.81			0.73		0.77		0.70		0.69	0.70
มี.ค.	0.80	0.89	0.77	0.83					0.70		0.90	0.76			0.83	0.81			0.82		0.75	0.73	0.82
เม.ย.						0.73			0.79					0.83								0.82	
พ.ค.		0.77														0.85			0.91	0.91			
มิ.ย.																							
ก.ค.	0.85			0.79																			
ส.ค.		0.81																					
ก.ย.					0.77																		
ต.ค.		0.80						0.75		0.79			0.76				0.78						0.76
พ.ย.			0.75	0.75				0.70	0.74	0.68			0.69		0.68		0.65	0.72		0.76	0.95	0.70	0.69
ธ.ค.						0.81	0.65	0.79		0.65			0.73			0.72	0.64	0.64	0.67	0.69	0.68		0.65

4. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับการใช้ที่ดิน

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับการใช้ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้าง พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2 = 0.9641$) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับสิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์กันสูง อธิบายได้ว่าเมื่อพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบริเวณที่มีความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้างจะมีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ช่วงฤดูร้อน (0.7714) ฤดูฝน (0.7793) และฤดูหนาว (0.8494) มีความสัมพันธ์กันระดับสูง แสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat แถบคลื่นความร้อนสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้างกับอุณหภูมิพื้นผิว ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับการใช้ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้าง



คำอธิบายสัญลักษณ์

การใช้ที่ดิน (2562)



อุณหภูมิพื้นผิว (2562)



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินและอุณหภูมิพื้นผิว

จากภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการใช้ที่ดินที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิว พบว่าปรากฏการณ์อุณหภูมิอยู่บริเวณตัวเมืองที่มีความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้าง มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด ได้แก่ พื้นที่ชุมชนเมือง และพื้นที่อื่น ๆ คือ สนามบิน สถานที่ราชการ เป็นต้น เป็นผลมาจากการขยายตัวของเมือง กลุ่มอาคารและสิ่งปลูกสร้างอยู่ชิดกันแบบเกาะกลุ่ม ทำให้ไม่มีช่องว่างให้ลมพัดถ่ายเทความร้อนออกจากอาคาร ประกอบกับวัสดุก่อสร้างอาคารส่วนใหญ่ใช้ประเภทคอนกรีต อิฐ เหล็ก พื้นถนนที่เป็นยางมะตอย จะสามารถดูดซับพลังงานจากดวงอาทิตย์ไว้ในอาคารและผิวถนนและคายความร้อนออกสู่บรรยากาศ ส่วนบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม ป่าไม้ และแหล่งน้ำ มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณที่มีสิ่งปลูกสร้างปกคลุมดิน เนื่องจากแหล่งน้ำและความหนาแน่นของต้นไม้สามารถช่วยคายน้ำกลับสู่ชั้นบรรยากาศ เป็นร่มเงาในการป้องกันการสะสมความร้อนบนพื้นผิวจากรังสีดวงอาทิตย์ (Taksadipong, *et al.*, 2015) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเมืองไม่เท่ากัน

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากนโยบายหนึ่งแถบหนึ่งเส้นทาง “เส้นทางสายไหมใหม่” จังหวัดอุดรธานี เป็นกลุ่มจังหวัดที่มีความสำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน มีการพัฒนาทางด้านความมั่นคง การค้าและบริการ อุตสาหกรรมที่มีความเชื่อมโยงในอนุภาคลุ่มน้ำโขงและคาบสมุทรมอินโดจีน จึงเกิดการขยายตัวของเมืองอุดรธานีอย่างรวดเร็วที่เกิดจากการพัฒนากิจกรรมทางเศรษฐกิจ เป็นศูนย์การค้าปลีกและเกษตรกรรม แหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม จึงเป็นปัจจัยดึงดูดให้ประชาชนหลั่งไหลเข้ามาอยู่ในเมือง โดยเฉพาะย่านศูนย์กลางเมืองเกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินตามบริบททางเศรษฐกิจ สังคมของชุมชน (Phuttharak & Dhiravisit, 2014) ส่งผลให้ความแตกต่างลักษณะการใช้ที่ดินหรือสิ่งปกคลุมดินในเขตเมืองร้อนขึ้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวต่างกัน (Puansurin, *et al.*, 2018)

จากการวิเคราะห์การใช้ที่ดินและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในรอบ 22 ปีผ่านมา (ภาพที่ 3) พบว่า ส่วนใหญ่ลักษณะการใช้ที่ดินเป็นพื้นที่เน้นการผลิตข้าว โดยเฉพาะเขตชลประทาน โดยตั้งแต่ปี 2553 - 2561 พื้นที่ปลูกข้าวเริ่มลดลงเปลี่ยนเป็นการปลูกพืชเศรษฐกิจตามนโยบายของรัฐบาลและโรงงานน้ำตาลที่สนับสนุนเกษตรกรเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวที่ไม่เหมาะสมเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยแทน เป็นการส่งเสริมการผลิตพืชพลังงานทดแทน เนื่องจากมีปัจจัยกายภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกและมีมูลค่าต่อพื้นที่ในการผลิตสูงกว่าพื้นที่ปลูกข้าว (Office of the Cane and Sugar Board, 2013; Prommahakul, 2020) ประกอบกับการขยายตัวจากการพัฒนาเศรษฐกิจทำให้พื้นที่เมืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอำเภอเมืองอุดรธานี ได้แก่ การเผาพื้นที่การเกษตร การขยายพื้นที่ทางการเกษตร การใช้ยานพาหนะและอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (Phuttharak & Dhiravisit, 2014; Puansurin, *et al.*, 2018) ขณะที่ปรากฏการณ์เอลนีโญที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติยังทำให้อุณหภูมิเมืองและกราฟอุณหภูมิของเมืองอุดรธานีเพิ่มสูงตามไปด้วย

การใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์อุณหภูมิพื้นที่ผิวกับความแตกต่างลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณเขตเมือง (Amiri, *et al.*, 2009; Fan, *et al.*, 2015) ร่วมกับวิธีเชิงสถิติสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ Moran's I แสดงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (Guo *et al.*, 2015) ช่วงฤดูร้อน อุณหภูมิพื้นผิวเกาะกลุ่มสูงบริเวณการใช้ที่ดินมีการเผา



พื้นที่การเกษตรบนพื้นที่โล่งเตียนและพื้นที่ดินเปิดโล่งช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน เกษตรกรจะมีการเตรียมการเพาะปลูกพืช จึงมีการเผาพื้นที่การเกษตร เพื่อปรับพื้นที่เพาะปลูกก่อนเข้าฤดูฝน ทำให้พื้นดินมีการสะท้อนได้ดีแสงอาทิตย์มีการสะท้อนสูง ดูดซับความร้อนน้อย คายความร้อนได้ค่อนข้างน้อย บริเวณพื้นที่ดินแห้งแข็งมากกว่าพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง ถึงแม้ว่าช่วงนี้จะเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนสูง (Zhao, & Li, 2013; Veraverbeke, 2012; Arifwidodo & Chandrasiri, 2015) ช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว อุณหภูมิพื้นผิวเกาะกลุ่มสูงบริเวณการใช้ที่ดินเมืองและสิ่งปลูกสร้าง เนื่องจากแสงอาทิตย์มีการสะท้อนได้ดี ดูดซับความร้อนน้อย บริเวณพื้นที่กว้าง แต่ฤดูฝน เป็นช่วงฤดูการเพาะปลูกทางการเกษตรหรือพื้นที่สีเขียว อุณหภูมิพื้นผิวเกาะกลุ่มค่อนข้างต่ำ ลักษณะพืชพรรณแต่ละชนิดจะกักเก็บความร้อน เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง (Chotchaiwong, & Wijitkosum, 2019) หรือไม่มีความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ทางการเกษตร ส่วนฤดูหนาว ความกดอากาศในชั้นบรรยากาศค่อนข้างสูง ทำให้เกาะกลุ่มความร้อนสูงบริเวณพื้นที่เมืองได้อย่างชัดเจน ประกอบกับการใช้เครื่องปรับอากาศ ยานพาหนะ การก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง ส่งผลต่อการเกิดเกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island: UHI) เกิดปรากฏการณ์ Albedo ที่มักเกิดขึ้นในเขตร้อนในช่วงฤดูหนาว (Dintwe *et al.*, 2017; Liu & Cooper, 2019; Chotchaiwong, & Wijitkosum, 2019) สอดคล้องกับการศึกษาของ Arifwidodo & Chandrasiri (2015) วิเคราะห์เกาะความร้อนพื้นที่เมืองในกรุงเทพมหานคร ช่วงฤดูหนาว ปี 2551 - 2555 พบว่า มีเกาะกลุ่มของความร้อนเกิดขึ้นในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย แต่เมื่อถึงฤดูการช่วงเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรเสร็จหรือพื้นที่สีเขียว อุณหภูมิมีการแสดงการเกาะกลุ่มค่อนข้างต่ำ สภาพพื้นดินยังมีความชื้นสูง สามารถทำหน้าที่ดูดซับความร้อนได้ดีในช่วงเวลากลางวัน ขณะที่ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ที่ใช้ในการศึกษานี้บันทึกในช่วงเวลา 15.30 น. (Bhattacharjee, 2020; Ibrahim *et al.*, 2016)

ข้อค้นพบและอุปสรรคปัญหาจากการวิเคราะห์พื้นที่เมืองด้วยเทคนิคข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจ ปัญหาในการเลือกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีปริมาณเมฆครอบคลุมปริมาณมาก การใช้ข้อมูลที่มีเมฆปริมาณมากส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนสูงได้ ทำให้การเลือกภาพถ่ายที่ใช้ในการศึกษานี้ (< 4%) มีปริมาณน้อย ดังภาพที่ 2 ดังนั้น ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อุณหภูมิพื้นผิวสูงในช่วงฤดูหนาว สำหรับงานวิจัยครั้งต่อไปควรเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเฉพาะช่วงฤดูหนาวมาใช้ในการศึกษา เนื่องจากมีประสิทธิภาพของการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวได้แม่นยำขึ้น ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ด้วยปัจจัยการใช้ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้างและอุณหภูมิพื้นผิวมีความสัมพันธ์สูง แต่สามารถเพิ่มปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น ระยะทางห่างเมืองและถนน ความหนาแน่นของป่าไม้ สิ่งปลูกสร้าง ลักษณะภูมิประเทศ ความสูง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเร็วลม เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์การเกาะกลุ่มที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ได้แก่ การเผาก่อนและหลังเก็บเกี่ยว การปรับปรุงแปลงเพาะปลูก และการเตรียมดิน แต่แต่ละช่วงจะมีผลการอุณหภูมิพื้นผิว (Chotchaiwong, & Wijitkosum, 2019) งานวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปหลักการวิเคราะห์แนวโน้มลักษณะอุณหภูมิพื้นผิวกับลักษณะการใช้ที่ดินประเภทอื่น ๆ และนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดภูมิทัศน์การวางผังเมือง การใช้ที่ดินให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อสภาพแวดล้อม เพื่อให้ประชากรที่อาศัยอยู่เขตเมืองมีสุขภาพและคุณภาพชีวิตที่ดี



สรุปผลการวิจัย

อุณหภูมิพื้นผิวเป็นปรากฏการณ์สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การนำเทคนิคภาพถ่ายจากดาวเทียม สามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกับการใช้ที่ดิน อำเภอเมืองอุดรธานี ด้วยวิธีการแบบป่าสุ่ม พบว่า ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม รองลงมาชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่ป่าไม้ เมื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลาระยะเวลา 22 ปี ตั้งแต่ปี 2540 - 2562 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.6 °C หลังจากนั้นทำรูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิวระดับครอบคลุมและระดับพื้นที่ โดยใช้สถิติสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่(Moran's I) โดยใช้วิธี Local G-Statistics และ Local Indication of Association (LISA) แต่ละฤดูกาล พบว่า ระดับครอบคลุมมีรูปแบบเกาะเกาะกลุ่ม ส่วนระดับพื้นที่ในช่วงฤดูร้อน มีค่าการกระจายอุณหภูมิแบบเกาะกลุ่มต่ำ ฤดูฝนและฤดูหนาว ค่าการกระจายอุณหภูมิแบบเกาะกลุ่มสูง ปรากฏการณ์อุณหภูมิสูงสุดสะสมอยู่บริเวณตัวเมืองที่มีความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้าง และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับการใช้ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้างสูง มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.9641$

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดอุดรธานี และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและสนับสนุนให้ความช่วยเหลือในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. K. (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 113(12), 2606-2617.
- Anbazhagan, S., & Paramasivam, C. (2016). Statistical correlation between land surface temperature (LST) and vegetation index (NDVI) using multi-temporal landsat TM data. *International Journal of Advanced Earth Science and Engineering*, 5(1), 333-346.
- Arifwidodo, S., & Chandrasiri, O. (2015). Urban heat island and household energy consumption in Bangkok, Thailand. *Energy Procedia*, 79(1), 189-194.
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using landsat 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016.



- Bhattacharjee, S., Chen, J., & Ghosh, S. K. (2020). Spatio-temporal prediction of land surface temperature using semantic kriging. *Transactions in GIS*, 24(1), 189-212.
- Chotchaiwong, P., & Wijitkosum, S. (2019). Relationship between land surface temperature and land use in Nakhon Ratchasima city, Thailand. *Engineering Journal*, 23(4), 1-14.
- Dai, X., Guo, Z., Zhang, L., & Li, D. (2010). Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(2), 247-257.
- Dintwe, K., Okin, G. S., & Xue, Y. (2017). Fire-induced albedo change and surface radiative forcing in sub-Saharan Africa savanna ecosystems: Implications for the energy balance. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(12), 6186-6201.
- Fan, C., Myint, S. W., & Zheng, B. (2015). Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperatures. *Progress in physical geography*, 39(2), 199-219.
- Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM⁺ imagery. *Sensors*, 7(7), 1323-1342.
- Fu, P., & Weng, Q. (2016). A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 175, 205-214.
- Ghosh, A., Sharma, R., & Joshi, P. (2014). Random forest classification of urban landscape using landsat archive and ancillary data: Combining seasonal maps with decision level fusion. *Applied Geography*, 48, 31-41.
- Goodchild, M. F. (1986). *Spatial autocorrelation* (Vol. 47): Geo Books.
- Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., & Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135, 1-10.



- Ibrahim, I., Abu Samah, A., Fauzi, R., & Noor, N. M. (2016). The land surface temperature impact to land cover types. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- Keeratikasikorn, C. (2018). A comparative study on four major cities in Northeastern Thailand using urban land density function. *Geo-spatial information science*, 21(2), 93-101.
- Liu, Z., Ballantyne, A. P., & Cooper, L. A. (2019). Biophysical feedback of global forest fires on surface temperature. *Nature communications*, 10(1), 1-9.
- Marome, W., & Pholcharoen, T. (2019). Institutional Analysis of Limitations to Climate Resilient Urban Development Planning: the Case of Udon Thani Province. *EnvironmentAsia*, 12(3).
- Mohajane, M., Essahlaoui, A., Oudija, F., El Hafyani, M., Hmaid, A. E., El Ouali, A., Teodoro, A. C. (2018). Land use/land cover (LULC) using landsat data series (MSS, TM, ETM+ and OLI) in Azrou forest, in the central middle atlas of Morocco. *Environments*, 5(12), 131.
- Munyati, C. (2017). The potential for integrating sentinel 2 MSI with spot 5 HRG and landsat 8 OLI imagery for monitoring semi-arid savannah woody cover. *International Journal of Remote Sensing*, 38(17), 4888-4913.
- Muttitanon, W., & Tripathi, N. (2005). Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(11), 2311-2323.
- Office of the Cane and Sugar Board. (2013). *The project under the evaluation of the development and expansion of sugar cane varieties*. Ministry of Industry, Bangkok, 35p.
- Phuttharak, T., & Dhiravisit, A. (2014). Rapid urbanization-its impact on sustainable development: A case Study of Udon Thani, Thailand. *Asian Social Science*, 10(22), 70.



- Prommahakul, K., Pheunsongkam, N., Somard, J., & Jitsukk, W. (2020). Sugarcane land change pattern and yield prediction using landsat imagery and unmanned aerial vehicle photos. *Burapha Science Journal*, 25(1), 168-186.
- Puansurin, K., Wongtragoon, U., Singchan, B., & Suwanmaneepong, S. (2018). The study of participatory monitoring of air quality and urban heat, case study Udon Thani province, Thailand. *International Journal of Agricultural Technology*, 14(7 Special Issue), 1693-1708.
- Rhee, J., Park, S., & Lu, Z. (2014). Relationship between land cover patterns and surface temperature in urban areas. *GIScience & remote sensing*, 51(5), 521-536.
- Taksadipong, S., Chuntranuluck, S., & Rungratanaubon, T. (2015). Cooling effect of urban green area on air temperature and relative humidity. *Burapha Science Journal*, 19(1), 109-118.
- Thai Meteorological Department. (2019). Maximum and low temperature in Thailand. Retrieved September 8, 2019, from https://www.tmd.go.th/programs/uploads/tempstat/min_stat_latest.pdf
- Veraverbeke, S., Verstraeten, W. W., Lhermitte, S., Van De Kerchove, R., & Goossens, R. (2012). Assessment of post-fire changes in land surface temperature and surface albedo, and their relation with fire–burn severity using multi-temporal MODIS imagery. *International Journal of Wildland Fire*, 21(3), 243-256.
- Udon Thani Government. (2014). Udon Thani province plan development. Retrieved August 28, 2019, from [http://www.udonthani.go.th/2014/download/datacenter/Development_Plan61-64\(Recover62\).pdf](http://www.udonthani.go.th/2014/download/datacenter/Development_Plan61-64(Recover62).pdf)
- Xi, Y., Thin, N., & Li, C. (2018). Spatio-temporal variation analysis of landscape pattern response to land use change from 1985 to 2015 in Xuzhou City, China. *Sustainability*, 10(11), 4287.
- Zhao, W., & Li, Z. L. (2013). Sensitivity study of soil moisture on the temporal evolution of surface temperature over bare surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 34(9-10), 3314-3331.



Zhu, Z., Fu, Y., Woodcock, C. E., Olofsson, P., Vogelmann, J. E., Holden, C., Yu, Y. (2016). Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014). *Remote Sensing of Environment*, 185, 243-257.