



การประเมินความชื้นในดินโดยใช้ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลบริเวณป่าต้นน้ำ หมู่บ้านป่าสักงาม ตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

Assessment of Soil Moisture Using Remote Sensing in Watershed Forest,

Pa Sak Ngam Village, Luang Nuea Sub District, Doi Saket District, Chiang Mai Province

จักรพงษ์ นามวงศ์ และ ชนิตา สุวรรณประสิทธิ์

Chakkaphong Namwong and Chanida Suwanprasit

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย

Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, Thailand

Received : 28 February 2023

Revised : 18 April 2023

Accepted : 9 May 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความชื้นในดินด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS ในพื้นที่ป่าต้นน้ำหมู่บ้านป่าสักงาม ตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคมและพฤศจิกายนถึงธันวาคม ปี 2564 โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface temperature: LST) และดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียมและร้อยละความชื้นในดินที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างความชื้นในดินจำนวน 30 ตัวอย่าง และทำการตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษา พบว่า ในเดือนพฤศจิกายนมีความชื้นในดินเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ เดือนพฤษภาคม เมษายน ธันวาคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมและค่าร้อยละความชื้นในดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างภาคสนามและนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการในแต่ละเดือนไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่พบความสัมพันธ์ตามช่วงฤดูกาลโดยมีค่าสถิติสหสัมพันธ์ในระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.653) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษาสามารถเป็นแนวทางในการประเมินความชื้นในดินโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อติดตามภาวะความแห้งแล้งของพื้นที่สำหรับวางแผนการฟื้นฟูและอนุรักษ์พื้นที่ป่าต้นน้ำต่อไป

คำสำคัญ : ความชื้นในดิน ; ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ ; การรับรู้จากระยะไกล ; ป่าต้นน้ำ ; สถิติสหสัมพันธ์



Abstract

This study aimed to estimate soil moisture in the watershed forest area of Pa Sak Ngam Village, Doi Saket district, Chiang Mai province, Thailand using Landsat 8 OLI/TIRS satellite image data. The analysis was conducted between February to May and November to December in 2021. The relationship between Land Surface temperature (LST) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was evaluated. The research also explored the connection between the soil moisture index obtained from satellite images and the soil moisture percentage obtained from thirty laboratory-measured soil samples. Results showed that average soil moisture in November had the highest, followed by May, April, December, February, and March, respectively. In addition, the soil moisture index obtained from satellite images and soil moisture percentage obtained from field samples and analyzed in the laboratory each month were not correlated. However, there was a significant seasonal correlation with a moderate correlation (0.653) at the 95% confidence level. The study findings could serve as a guideline for monitoring drought conditions using satellite images to assess soil moisture in the area and planning the restoration and conservation of watershed forests.

Keywords : soil moisture ; NDVI ; remote sensing ; watershed forest ; Correlation Statistics



บทนำ

ประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้งมาอย่างต่อเนื่องและทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2562 มูลค่าความเสียหายจากภัยแล้งสูงถึง 797.7 ล้านบาท มีผู้ได้รับผลกระทบจำนวน 18.7 ล้านคน ภาคเกษตรได้รับผลกระทบมากที่สุดเนื่องจากเป็นภาคการผลิตที่มีการใช้น้ำสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 70 ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดของประเทศ (Office of the National Economic and Social Development Council, 2022) ป่าต้นน้ำเปรียบเสมือนอ่างเก็บน้ำตามธรรมชาติป่าไม้จะทำหน้าที่แบ่งน้ำฝนออกเป็น น้ำบนดิน และน้ำใต้ดิน บริเวณพื้นที่ใดมีต้นไม้ปกคลุมอย่างหนาแน่น พื้นที่นั้นจะมีชั้นเรือนยอดช่วยลดแรงปะทะหน้าดินกับเม็ดฝนได้ ทำให้ดินดูดซับน้ำได้ทันและน้ำในแม่น้ำมีน้ำตลอดทั้งปี รวมทั้งการช่วยลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ และดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกระบวนการสะสมของปริมาณน้ำจะถูกกักเก็บไว้ในรูปแบบของความชื้นที่เกิดจากการคายระเหย ทั้งในส่วนของการระเหยของน้ำจากพื้นดินและแหล่งน้ำต่างๆ และการคายน้ำจากพืช การฟื้นฟูพื้นที่ป่าต้นน้ำเป็นส่วนสำคัญของความพยายามในการอนุรักษ์และปกป้องที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ ปรับปรุงคุณภาพน้ำ และลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การป้องกันรักษาป่าและการปลูกป่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ต้นน้ำลำธารเป็นหัวใจที่สำคัญในการจัดการพื้นที่ต้นน้ำเพื่อกักเก็บปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติให้มีปริมาณที่สม่ำเสมอและมีคุณภาพที่ดีเนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าคุณประโยชน์ของป่าคือป่าทำให้เกิดความชุ่มชื้น ช่วยดูดซับและกักเก็บน้ำให้มีน้ำในแหล่งน้ำตลอดปี นอกจากนี้ยังช่วยยึดเหนี่ยวดินไม่ให้เกิดการพัดตะกอนหรือสูญเสียหน้าดิน ป้องกันน้ำท่วมและการพังทลายของหน้าดิน ฯลฯ (Duangsrissai, 2012)

ความชื้นในดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและสภาพของระบบนิเวศโดยรวม ความชื้นในดินที่เพียงพอจะช่วยให้รากเจริญเติบโตและดูดซับสารอาหารได้อย่างเหมาะสม ในขณะเดียวกันก็ช่วยป้องกันการกัดกร่อนและรักษาโครงสร้างของดิน นอกจากนี้ ความชื้นในดินยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อรูปแบบสภาพอากาศ เนื่องจากช่วยควบคุมอุณหภูมิและอาจส่งผลต่อการก่อตัวของเมฆและหยาดน้ำฟ้า หากไม่มีความชื้นในดินเพียงพอจะทำให้เกิดภาวะความเครียดจากการขาดน้ำของพืช ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง ความชื้นในดินยังมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรของน้ำ เติมน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดิน โดยรวมแล้ว การรักษาระดับความชื้นในดินที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบนิเวศที่สมบูรณ์ (Collander *et al.*, 2020) การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินเป็นตัวบ่งบอกถึงสภาพของป่าต้นน้ำที่ทำหน้าที่รักษาสสมดุลของน้ำ (กักเก็บน้ำ) ในพื้นที่ หากสถานการณ์ความชื้นในดินของพื้นที่ลดลงแม้ในพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมเป็นป่าไม้อยู่ ก็อาจแสดงถึงการเสียสมดุลของน้ำในพื้นที่ได้ ดังนั้นการตรวจสอบและติดตามข้อมูลความชื้นในดินของบริเวณพื้นที่ป่าต้นน้ำจึงมีส่วนสำคัญในการวางแผนการจัดการกับปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

การศึกษาความชื้นในดินจากการรับรู้ระยะไกลด้วยวิธีการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Different Vegetation Index: NDVI) และอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature: LST) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างการศึกษาความชื้นในดินในประเทศจีนในที่ราบ Huang huai-hai (HHH) (Chen *et al.* 2011) พื้นที่ป่า Laoshan (Chen *et al.* 2015) บริเวณที่ราบสูงบริเวณที่ราบเชิงภูเขาจนถึงภูเขาหลงเหมิน (Peng *et al.* 2020) และพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของจีน (Wang *et al.* 2007) และการศึกษาความชื้นในดินในประเทศไทยในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี (Sukkasem *et al.* 2020)



เนื่องจากดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณสามารถตรวจสอบสถานะและความเครียดของพืชจากการขาดน้ำ ซึ่งค่าของดัชนีภูมิพื้นผิวจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชเกิดความเครียดจากการขาดน้ำ เมื่อนำข้อมูลดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและดัชนีภูมิพื้นผิวมาสร้างเป็นแผนภาพความสัมพันธ์มักมีผลลัพธ์การกระจายของข้อมูลเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (Sandholt *et al.*, 2002)

ป่าไม้ในเขตพื้นที่ของหมู่บ้านป่าสักงามเป็นพื้นที่ป่าต้นน้ำที่ตั้งอยู่เหนือเขื่อนแม่กวงอุดมธารา ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำหรับใช้ประโยชน์ ทำหน้าที่หล่อเลี้ยงชีวิตประชาชนในการอุปโภคบริโภค และส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกรในพื้นที่ 3 อำเภอของจังหวัดเชียงใหม่ และ 2 อำเภอ ของจังหวัดลำพูน การศึกษาความชื้นในดินบริเวณพื้นที่ดังกล่าวจะเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงสภาพความแห้งแล้งในพื้นที่เพื่อเป็นประโยชน์ในการวางแผนฟื้นฟูและอนุรักษ์ภายในพื้นที่หมู่บ้านป่าสักงามต่อไป ซึ่งปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับความชื้นในดินในพื้นที่ป่าไม้ด้วยวิธีการรับรู้จากระยะไกลนั้นยังมีจำนวนน้อย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาการประเมินการความชื้นในดินด้วยข้อมูลและเทคนิควิธีการทางด้านการศึกษาการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและดัชนีภูมิพื้นผิวด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ระบบ OLT และ TIRS ซึ่งการศึกษานี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในพื้นที่ป่าไม้ในช่วงเวลาฤดูแล้ง ของปี พ.ศ. 2564 โดยใช้ดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและค่าร้อยละความชื้นในดินจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามและนำไปตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ ของพื้นที่หมู่บ้านป่าสักงาม ตำบลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

หมู่บ้านป่าสักงามตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กวง สภาพพื้นที่ของหมู่บ้านป่าสักงามล้อมรอบด้วยป่าสงวนแห่งชาติ (Figure 1) พื้นที่บ้านป่าสักงามมีประมาณ 70,000 ไร่ โดยมีพื้นที่ที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่ใช้สอย 500 ไร่ นอกเหนือจากนั้นเป็นพื้นที่ป่าไม้ โดยมีประเภทป่าไม้ 3 ประเภท ได้แก่ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าปลูก อีกทั้งพื้นที่ศึกษายังเป็นแหล่งต้นน้ำที่มีห้วยรองรับน้ำไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำแม่กวงอุดมธารา เป็นพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ป่าขุนแม่กวงอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เดิมหมู่บ้านป่าสักงามเป็นหมู่บ้านที่มีความอุดมสมบูรณ์มาโดยตลอด จนกระทั่งเมื่อรัฐบาลได้สัมปทานป่าไม้ให้เอกชน จนกระทั่งไปถึงป่าต้นน้ำ เกิดป่าเสื่อมโทรม น้ำตกที่เป็นแหล่งน้ำสำหรับใช้ประโยชน์ของคนในพื้นที่กลับเหือดแห้ง ความหลากหลายในป่าไม้ลดลง จึงเกิดการแก้ไขปัญหาในพื้นที่โดยการปลูกป่า สร้างองค์ความรู้ให้แก่คนในพื้นที่ (Pa Sak Ngam Community, 2011) จากคำบอกเล่าของผู้นำชุมชนของหมู่บ้านป่าสักงามที่ได้ให้ข้อสังเกตไว้ว่า ในช่วงระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา แม้ป่าไม้จะได้รับการฟื้นฟูให้กลับคืนสู่สภาพใกล้เคียงกับสภาพเดิมในอดีต แต่กลับพบว่าปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่าในพื้นที่กลับมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมที่เคยเป็น โดยพื้นที่ต้นน้ำมีความสำคัญและมีบริบทของภูมิณีเวศที่ต่างจากพื้นที่กลางน้ำและปลายน้ำ ชุมชนบ้านป่าสักงามเป็นพื้นที่ต้นน้ำที่ในปัจจุบันมีป่าที่อุดมสมบูรณ์มากขึ้นแต่ยังขาดการศึกษาสถานการณ์น้ำในพื้นที่ ซึ่งความชื้นในดินถือเป็นตัวแปรหนึ่งในวัฏจักรน้ำ จึงถูกคัดเลือกเป็นตัวแทนในการศึกษาครั้งนี้

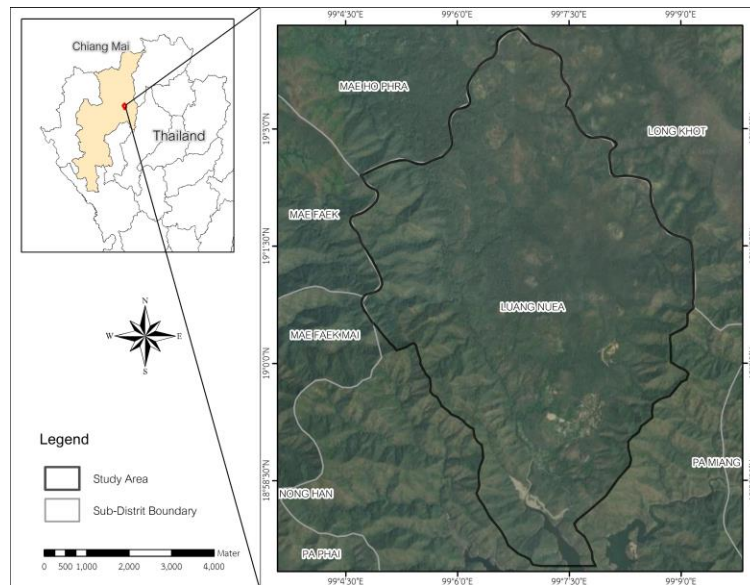


Figure 1 The Study Area

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1. ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) และ The Thermal Infrared Sensor (TIRS) จากเว็บไซต์ USGS ที่มีความละเอียดของจุดภาพในช่วงคลื่นตามองเห็น (Visible) ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared: NIR) ช่วงอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (Short Wave Infrared: SWIR) อยู่ที่ 30 x 30 เมตร และช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared: TIR) มีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 100 x 100 เมตร ซึ่งพื้นที่ศึกษามีตำแหน่งการโคจรในการถ่ายภาพอยู่ที่ Path 131 และ Row 47 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 และช่วงพฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ.2564 บันทึกข้อมูลวันที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 วันที่ 23 มีนาคม พ.ศ.2564 วันที่ 24 เมษายน พ.ศ.2564 วันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ.2564 และวันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ.2564 วันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ.2564 ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งของประเทศไทย โดยมีการตัดสวนที่มีเมฆปกคลุมภายในภาพถ่ายดาวเทียมในภาพถ่ายดาวเทียมเดือนมีนาคม พฤษภาคม และพฤศจิกายน เนื่องจากตำแหน่งที่มีเมฆปกคลุมจะมีผลทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนได้

2. ข้อมูลความชื้นในดินจากห้องปฏิบัติการโดยการนำตัวอย่างดินในพื้นที่ตามช่วงเวลาใกล้เคียงกับการถ่ายภาพของดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS จากนั้นนำตัวอย่างดินที่มีขนาดน้ำหนักมากพอ (ประมาณ 500 กรัมต่อ 1 ตัวอย่าง) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 - 24 ชั่วโมง จนดินแห้งและมีน้ำหนักคงที่ และคำนวณร้อยละความชื้นของดินเป็นสัดส่วนต่อน้ำหนักดินแห้ง

วิธีการศึกษา

สำหรับวิธีการศึกษา ดัง Figure 2 โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนดังต่อไปนี้

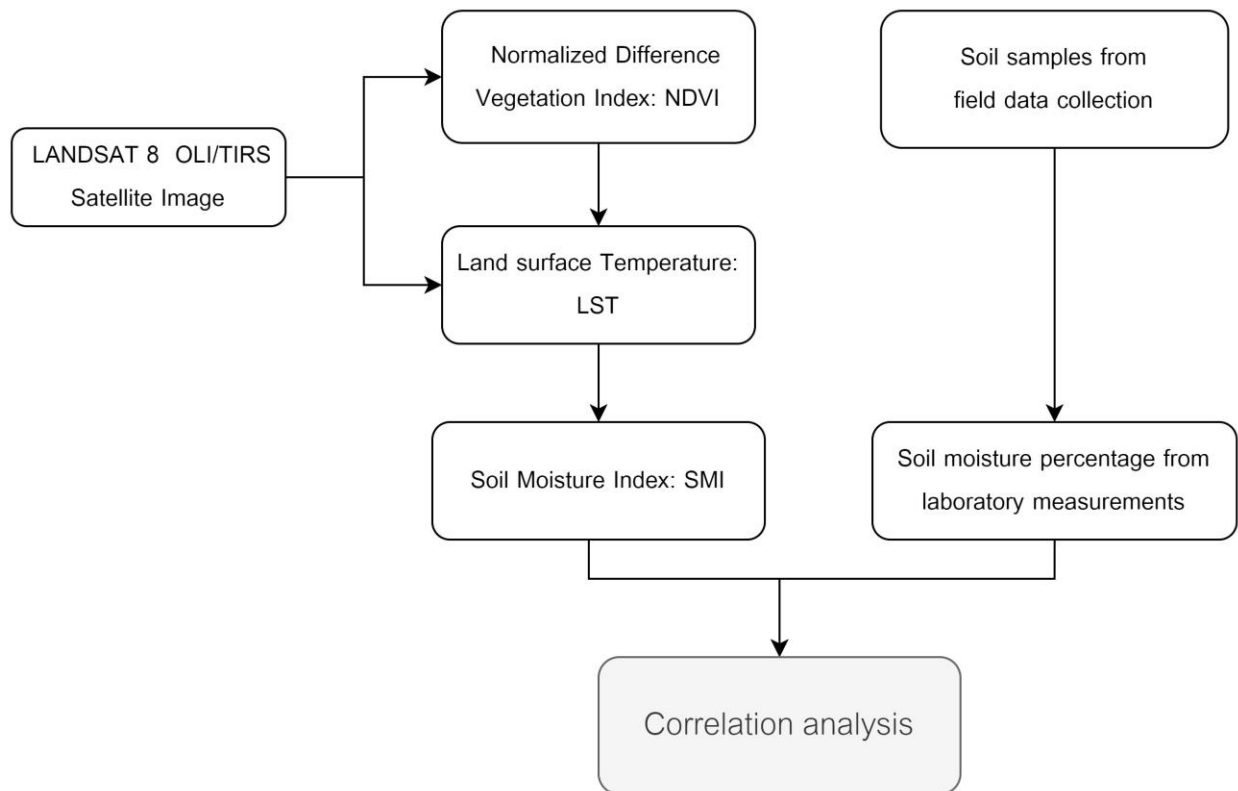


Figure 2 The conceptual framework of this study.

การประเมินความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม

ปัจจุบันการศึกษาความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียมมีหลากหลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการประเมินความชื้นในดินด้วยการสร้างแผนภาพสีที่เชื่อมโยงคางหมู ที่มาจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและอุณหภูมิพื้นผิวเนื่องจากความชื้นในดินมีผลต่อการคายน้ำของพืช เมื่อในพื้นที่ที่มีความชื้นในดินลดลง แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของดินจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถของพืชในการนำน้ำไปใช้ลดลง จึงทำให้การคายน้ำของพืชลดลงส่งผลให้อุณหภูมิเรือนยอดเพิ่มขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวจึงสามารถบ่งบอกสภาพความชื้นในดินในพื้นที่ได้ ในส่วนของข้อมูลดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงลักษณะสิ่งปกคลุมดินที่เป็นพืชพรรณ จึงถูกนำมาศึกษาความสัมพันธ์ร่วมกับอุณหภูมิพื้นผิวในการประเมินความชื้นในดิน ดังเช่น การศึกษาของ Zhan *et al.* (2004) และ Parida *et al.* (2008) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้



1. การวิเคราะห์ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) ตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

โดย NIR คือ ค่าการสะท้อนของรังสีในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
 RED คือ ค่าการสะท้อนของรังสีในช่วงคลื่นสีแดง

2. การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว จะใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนของดาวเทียม Landsat 8 ในแบนด์ที่ 10 ที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 10.6 - 11.19 ไมโครเมตร โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

การแปลงค่าเชิงตัวเลขของแต่ละจุดภาพ (Digital Number) เป็นค่าการแผ่รังสี (Radiance) เชิงสเปกตรัม (Conversion to TOA Radiance) ด้วยสมการที่ 2 ดังนี้

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

โดย L_λ คือ ค่าการแผ่รังสี (Radiance) เชิงสเปกตรัม (Watts/(m² * srad * μm))
 M_L คือ ค่า Radiance Multi Band จากข้อมูลอธิบายข้อมูล
 A_L คือ ค่า Radiance Add Band จากข้อมูลอธิบายข้อมูล
 Q_{cal} คือ ค่าเชิงตัวเลขของแต่ละจุดภาพ (Digital Number)

การแปลงค่าแผ่รังสีเชิงคลื่น (Top spectral radiance) เป็น ค่าความสว่างของอุณหภูมิ (top of atmosphere brightness temperature) โดยใช้ค่าคงที่ทางความร้อนของแบนด์ความร้อนที่ใช้สมการที่ 3 ดังนี้

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (3)$$

โดย T คือ ค่าความสว่างของอุณหภูมิของดาวเทียม (Top of atmosphere brightness temperature: °C)
 L_λ คือ ค่าการแผ่รังสี (Radiance) เชิงสเปกตรัม (Watts/ (m² * srad * μm))
 K_1 คือ ค่าคงที่ 774.89 ในแบนด์ 10 และ 480.89 ในแบนด์ 11
 K_2 คือ ค่าคงที่ 1321.08 ในแบนด์ 10 และ 1201.14 ในแบนด์ 11

3. การประเมินความชื้นในดินด้วยดัชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index: SMI) จะอาศัยดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและอุณหภูมิพื้นผิวในการประเมินในรูปแบบแผนภาพการกระจายใน Figure 3 ค่าจากการวิเคราะห์จะมีช่วงข้อมูลที่ 0 ถึง 1 โดยเมื่อค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึงความชื้นในดินมีค่าสูง และเมื่อค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงความชื้นในดินมีค่าต่ำ โดยการวิเคราะห์ความชื้นในดินวิเคราะห์จากสมการที่ 4 ดังนี้

$$SMI = \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (4)$$

โดย LST_{max} และ LST_{min} คืออุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดและต่ำสุดสำหรับ NDVI ที่กำหนดในแผนภาพการกระจาย และ LST คืออุณหภูมิพื้นผิวที่เป็นอุณหภูมิพื้นผิวของจุดภาพสำหรับ NDVI ณ ตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งได้มาจากข้อมูลที่รับรู้จากระยะไกล LST_{max} และ LST_{min} คือค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

$$LST_{max} = a_1 * NDVI + b_1 \quad (5)$$

$$LST_{min} = a_2 * NDVI + b_2 \quad (6)$$

โดย a_1 , a_2 , b_1 และ b_2 คือค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการถดถอยเชิงเส้น (a คือ ความชันของค่าความสัมพันธ์ b คือ ระยะตัดของแกน) ที่กำหนดขอบทั้งข้างและเป็ยก (Warm edge และ Cold edge) ของข้อมูลจากการคัดเลือกช่วงของ LST สูงสุดและต่ำสุดในแต่ละช่วงของค่า NDVI (Figure 3)

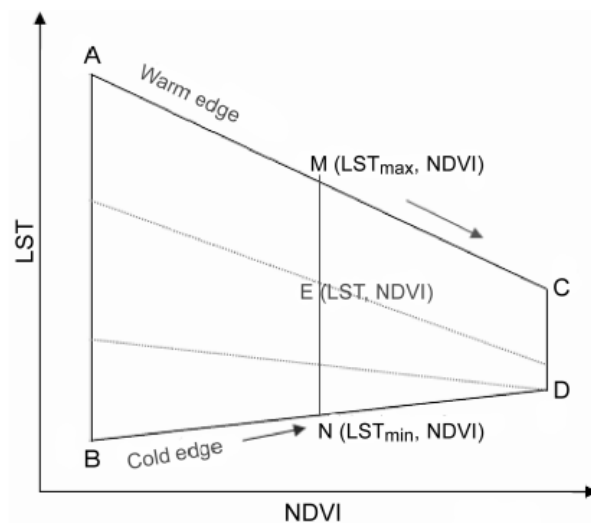


Figure 3 The scatterplot in LST-NDVI space (Parida et al. 2008)

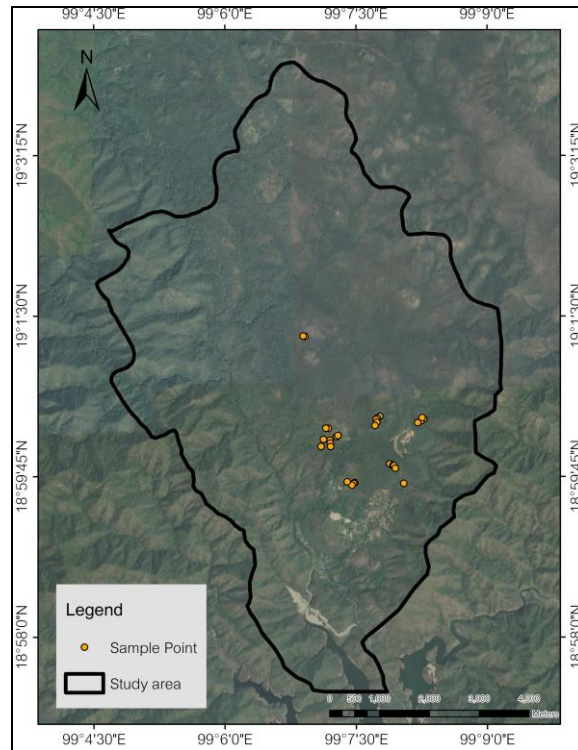


Figure 4 Soil sampling points

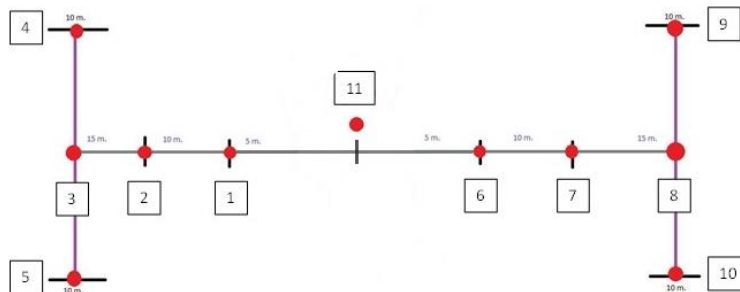


Figure 5 Data collection format in the sample plots

ความชื้นในดินจากการเก็บตัวอย่างในภาคสนามและนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การเก็บข้อมูลตัวอย่างดินในภาคสนามจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 30 ตัวอย่างในแต่ละเดือน (Figure 4) โดยวิธีการเก็บตัวอย่างดินเป็นการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบ (Systematic random sampling) วิธีการสุ่มตัวอย่างเป็นการสุ่มตัวอย่างที่สอดคล้องกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ลักษณะของข้อมูลดาวเทียม Landsat ที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์มีขนาดจุดภาพ 30



เมตร x 30 เมตร ดังนั้นจึงกำหนดการเก็บข้อมูลตัวอย่างดินในภาคสนามพื้นที่ 30 เมตร x 30 เมตรให้มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับขนาดและตำแหน่งของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมากที่สุด ดังแสดงใน Figure 5 โดยทำการเก็บตัวอย่างดินในระดับความลึก 0 ถึง 20 เซนติเมตรจากผิวดิน จำนวนทั้งหมด 11 จุดต่อ 1 แปลงตัวอย่างในแต่ละเดือน และเก็บข้อมูลในตำแหน่งบริเวณใกล้เคียงกันในแต่ละเดือน จำนวนทั้งหมด 6 เดือน รวมจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการศึกษาคั้งนี้ทั้งหมด 180 ตัวอย่าง

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและความชื้นในดินจากการเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและความชื้นในดินจากการเก็บตัวอย่างในภาคสนามและนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการประเมินค่าดัชนีความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ระบบ OLI และ TIRS ของเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม และเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2564 กับค่าร้อยละความชื้นในดินจากการเก็บตัวอย่างในภาคสนามและนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการในช่วงเวลาใกล้เคียงกับเวลาของภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งตรวจวัดความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรงโดยพิจารณาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) โดยกำหนดเกณฑ์การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Wongrattana, C., 1998) ดังนี้ ความสัมพันธ์ระดับสูงมาก (0.91 – 1.00) ความสัมพันธ์ระดับสูง (0.71 – 0.90) ความสัมพันธ์ระดับปานกลาง (0.31 – 0.70) ความสัมพันธ์ระดับต่ำ (0.01 – 0.30) ไม่มีความสัมพันธ์กัน (0.00) จากนั้นแบ่งรูปแบบความสัมพันธ์เป็นสองกรณีคือ การทดสอบความสัมพันธ์ด้วยการใช้ข้อมูลรายเดือน และการทดสอบความสัมพันธ์จากข้อมูลทุกช่วงเวลาเพื่อทดสอบว่าดัชนีความชื้นในดินสามารถประเมินความชื้นในดินได้ดีในข้อมูลแบบรายเดือนหรือในช่วงฤดูการ

ผลการวิจัย

ผลการศึกษสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความชื้นในดินในพื้นที่ป่าไม้จากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคมและช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ปี พ.ศ.2564

ในการศึกษาความชื้นในดินด้วยดัชนีความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและอุณหภูมิพื้นผิวนั้น ผลการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีความชื้นในดินเดือนพฤศจิกายนมีความชื้นในดินเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.596 เนื่องจากเป็นช่วงเวลาหลังจากผ่านฤดูฝนของพื้นที่ ในพื้นที่จึงมีการสะสมความชื้นในดินจากปริมาณน้ำฝนที่ตกในช่วงฤดูฝน รองลงมาคือเดือนพฤษภาคมมีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.580 เป็นช่วงเวลาที่ได้รับอิทธิพลของฝนตกในช่วงเดือนเมษายน ต่อมาความชื้นในดินเดือนเมษายนที่มีความชื้นในดินเฉลี่ยเท่ากับ 0.509 เป็นเวลาที่เริ่มมีฝนตกในพื้นที่จึงเริ่มมีการสะสมความชื้นในดิน ส่วนช่วงเดือนธันวาคมมีความชื้นในดินเฉลี่ยเท่ากับ 0.464 ซึ่งเป็นเดือนช่วงที่ไม่มีฝนตกในพื้นที่ความชื้นในดินจึงมีการปลดปล่อยไปกับการระเหยและลดลงจากการใช้ประโยชน์จากพืชพรรณบริเวณ



นั้น และเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคมที่มีความชื้นในดินเท่ากับ 0.198 และ 0.191 ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นช่วงเดือนที่มีความชื้นในดินที่น้อยที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงที่พื้นที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนในช่วงฤดูร้อนทำให้อัตราการระเหยในพื้นที่เกิดขึ้นมาก ทำให้ความชื้นในดินที่คงอยู่ในพื้นที่ของทั้งสองช่วงเวลาจึงมีปริมาณน้อย ดัง Table 1 เมื่อพิจารณาถึงค่าดัชนีความชื้นในดินแต่ละเดือน พบว่าในเดือนกุมภาพันธ์มีความชื้นในดินสูงสุด 0.560 ความชื้นในดินต่ำสุด -0.215 ความชื้นในดินเฉลี่ย 0.198 เดือนมีนาคมมีความชื้นในดินสูงสุด 0.996 ความชื้นในดินต่ำสุด 0.011 ความชื้นในดินเฉลี่ย 0.191 เดือนเมษายนมีความชื้นในดินสูงสุด 0.978 ความชื้นในดินต่ำสุด 0.095 ความชื้นในดินเฉลี่ย 0.509 เดือนพฤษภาคมมีความชื้นในดินสูงสุด 1.308 ความชื้นในดินต่ำสุด 0.152 ความชื้นในดินเฉลี่ย 0.580 เดือนพฤศจิกายนมีความชื้นในดินสูงสุด 1.801 ความชื้นในดินต่ำสุด -0.045 ความชื้นในดินเฉลี่ย 0.596 เดือนพฤษภาคมมีความชื้นในดินสูงสุด 0.708 ความชื้นในดินต่ำสุด -0.020 ความชื้นในดินเฉลี่ย 0.464 ดัง Figure 8

Table 1 Statistical values of the average variables for each month in the year 2021

Month	Normalized Difference Vegetation Index	Land surface Temperature	Soil Moisture Index	Accumulated Rainfall (mm.)
February	0.580	21.649	0.198	11.124
March	0.313	21.650	0.191	2.971
April	0.405	16.740	0.509	144.047
May	0.657	20.405	0.580	54.705
November	0.659	20.140	0.596	24.190
December	0.653	17.581	0.464	0.065

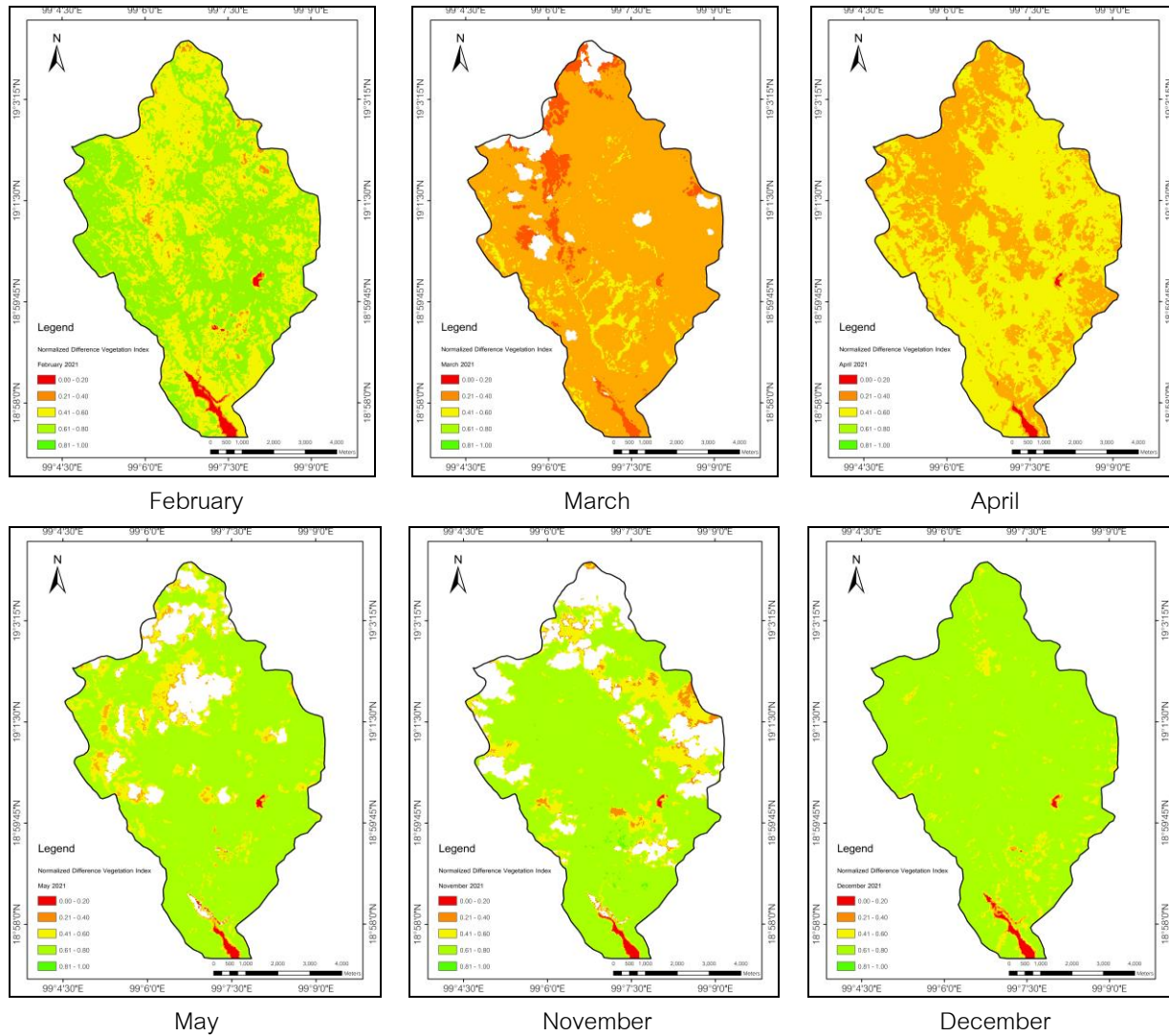


Figure 6 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 2021

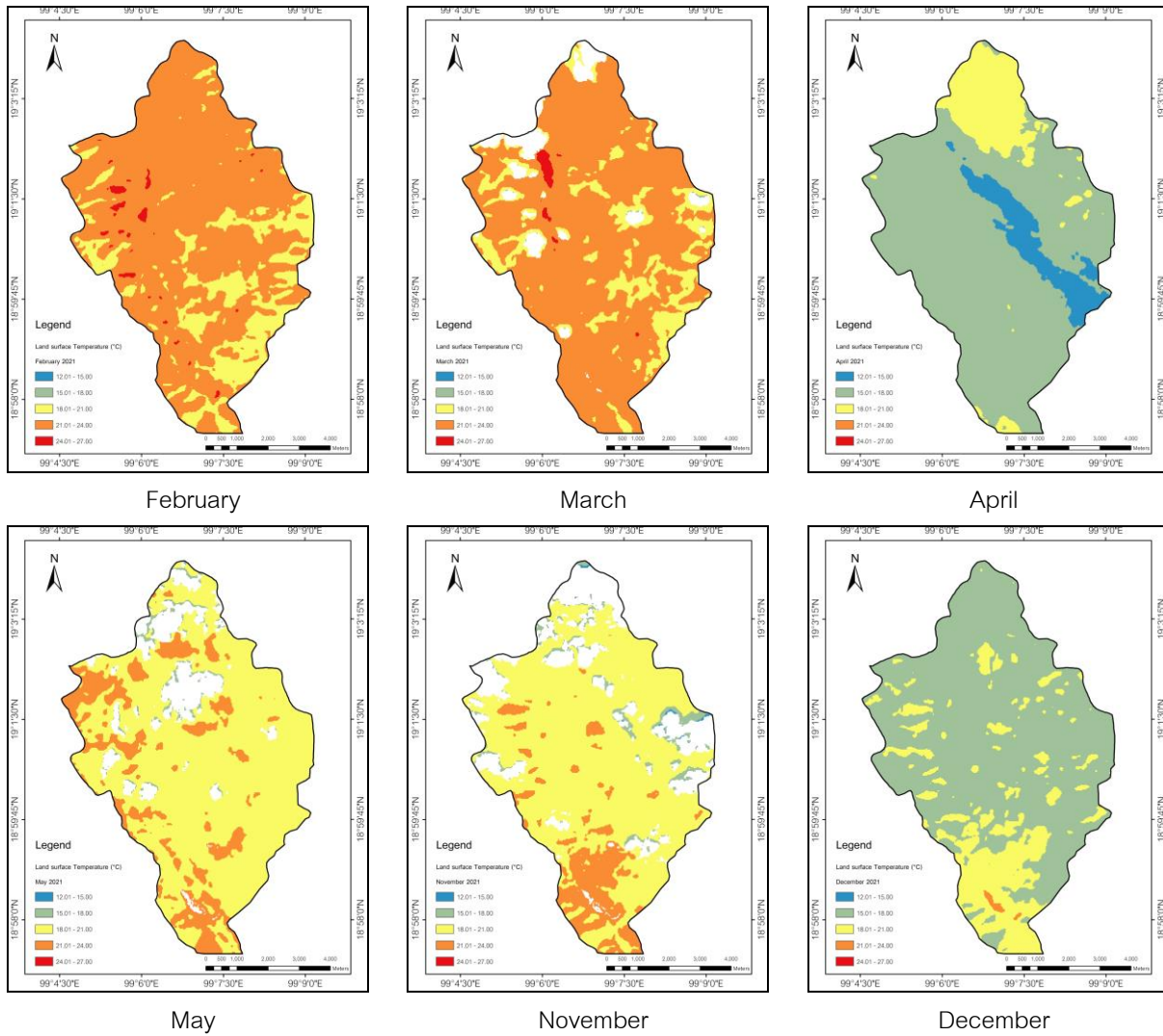


Figure 7 Land Surface Temperature (LST) 2021

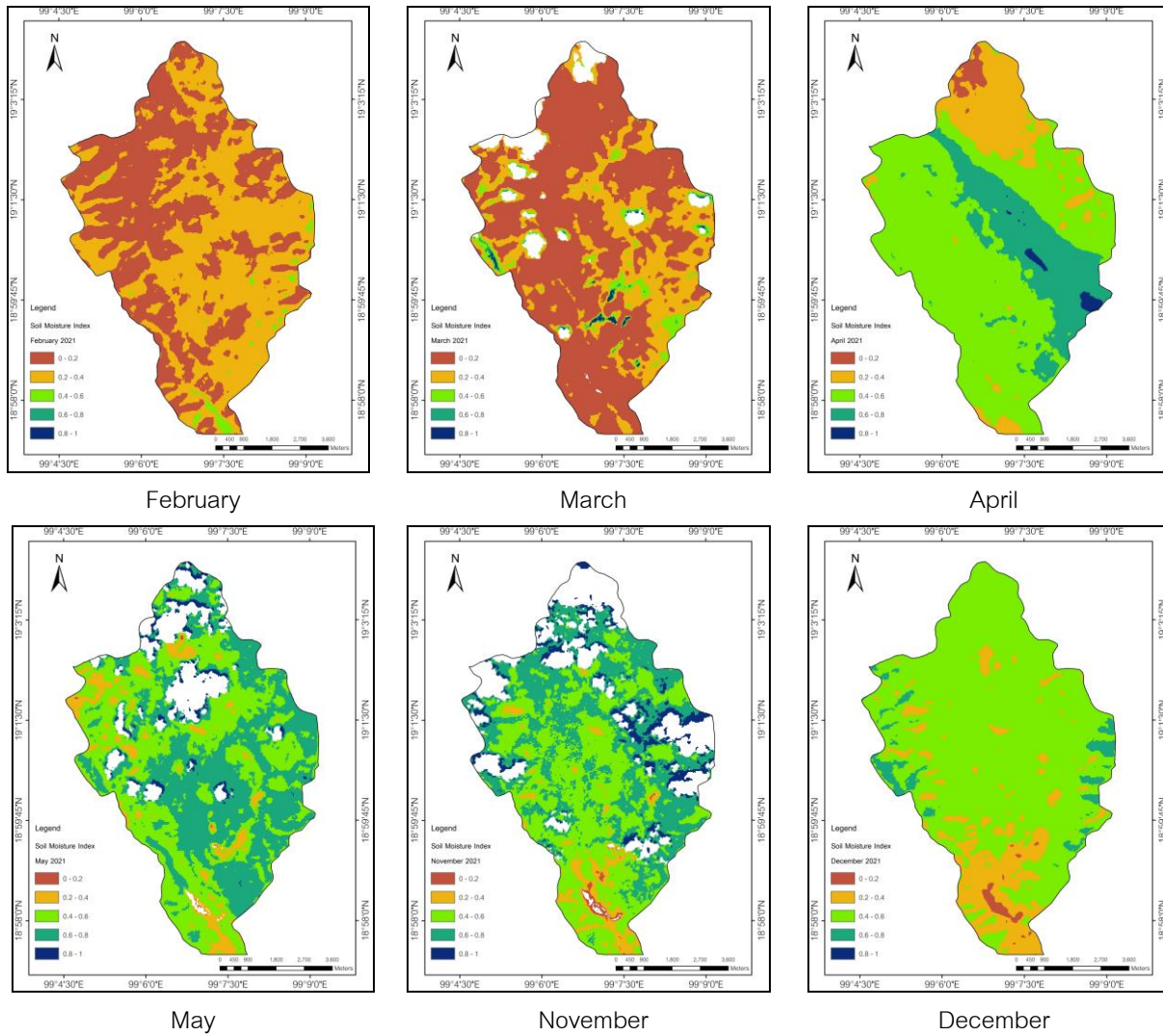


Figure 8 Soil Moisture Index (SMI) 2021

2. การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและค่าร้อยละความชื้นในดินจากการเก็บตัวอย่างในภาคสนามและนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินจากห้องปฏิบัติการและภาพถ่ายดาวเทียม ถูกแบ่งการทดสอบออกเป็นสองกรณี กรณีแรกคือการทดสอบความสัมพันธ์ด้วยการใช้ข้อมูลรายเดือน และกรณีที่สองคือทดสอบความสัมพันธ์จากข้อมูลทุกช่วงเวลา โดยแผนภาพการกระจายของข้อมูลทั้งสองส่วนเป็นดัง Figure 9 และ 10 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรแสดงใน Table 2 ซึ่งการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และค่าร้อยละความชื้นในดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างภาคสนามและวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ ในปี พ.ศ. 2564

พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรในเดือนพฤศจิกายนที่ 0.405 อย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 ในลักษณะแปรผกผันกันเพียงเดือนเดียว โดยเดือนพฤศจิกายนมีระดับความชื้นในดินและดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณสูงที่สุดจากช่วงเวลาทั้งหมด ส่วนของข้อมูลเดือนอื่น ๆ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าแปรผันตามอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เช่น เดือนเมษายน พฤษภาคม และมิถุนายน โดยปกติแล้วค่าทั้งสองมักมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกัน แต่ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤศจิกายน และธันวาคม มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ในกรณีนี้อาจเกิดจากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อาจไม่เพียงพอ ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลทุกช่วงเวลา มีค่าความสัมพันธ์ที่ 0.653 อย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระดับปานกลางตามเกณฑ์การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ข้างต้น

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการประเมินความชื้นในดินด้วยดัชนีความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS โดยใช้แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและค่าอุณหภูมิพื้นผิว โดยพบว่าข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS สามารถใช้ประเมินความชื้นในดินในพื้นที่ป่าต้นน้ำของหมู่บ้านป่าสักงาม ตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen *et al.* (2015) และการศึกษาของ Wang *et al.* (2007)

สำหรับความแตกต่างของความชื้นในดินที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมและช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม นั้นเกิดจากการที่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคมความชื้นในดินของพื้นที่เป็นความชื้นในดินที่ได้รับอิทธิพลมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกในช่วงฤดูฝนก่อนหน้านั้น ส่วนความชื้นในดินช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมเป็นความชื้นในดินในช่วงที่ไม่ได้รับอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝนของพื้นที่ แต่เป็นความสามารถของพื้นที่ที่จะกักเก็บความชื้นในดินและปลดปล่อยความชื้นในดินในช่วงเวลาดังกล่าว

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของทุกช่วงเวลาตั้งแต่ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมและช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคมมีค่า 0.653 อย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 เนื่องจากเป็นชุดข้อมูลที่มีตัวแทนของดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ และอุณหภูมิพื้นผิวของทุกเวลาในฤดูแล้ง ซึ่งข้อมูลในฤดูแล้งมีค่าแตกต่างกันตามช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ลักษณะพืชพรรณในพื้นที่และอุณหภูมิพื้นผิวจึงมีความแตกต่างกันด้วย ส่งผลให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรมีข้อมูลที่เกาะกลุ่มกัน การศึกษาความชื้นในดินโดยใช้ข้อมูลทุกช่วงเวลาในฤดูแล้งจึงเหมาะสมสำหรับนำมาเป็นตัวแทนสำหรับการศึกษารูปแบบความชื้นในดินมากกว่าการศึกษาความชื้นในดินเพียงช่วงเวลาเดียว หรือแยกตามรายเดือน เนื่องจากการศึกษาความชื้นในดินแยกรายเดือนจะใช้ข้อมูลดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและอุณหภูมิพื้นผิวในการประเมินความชื้นในดิน เมื่อถึงช่วงเวลาเปลี่ยนผ่านของฤดูกาลทำให้อุณหภูมิพื้นผิวเปลี่ยนแปลงแต่ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณเปลี่ยนแปลงน้อย อาจส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์ได้ จึงทำให้ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียมไม่สอดคล้องกันกับค่าร้อยละความชื้นในดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างภาคสนามและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการแต่ละเดือน

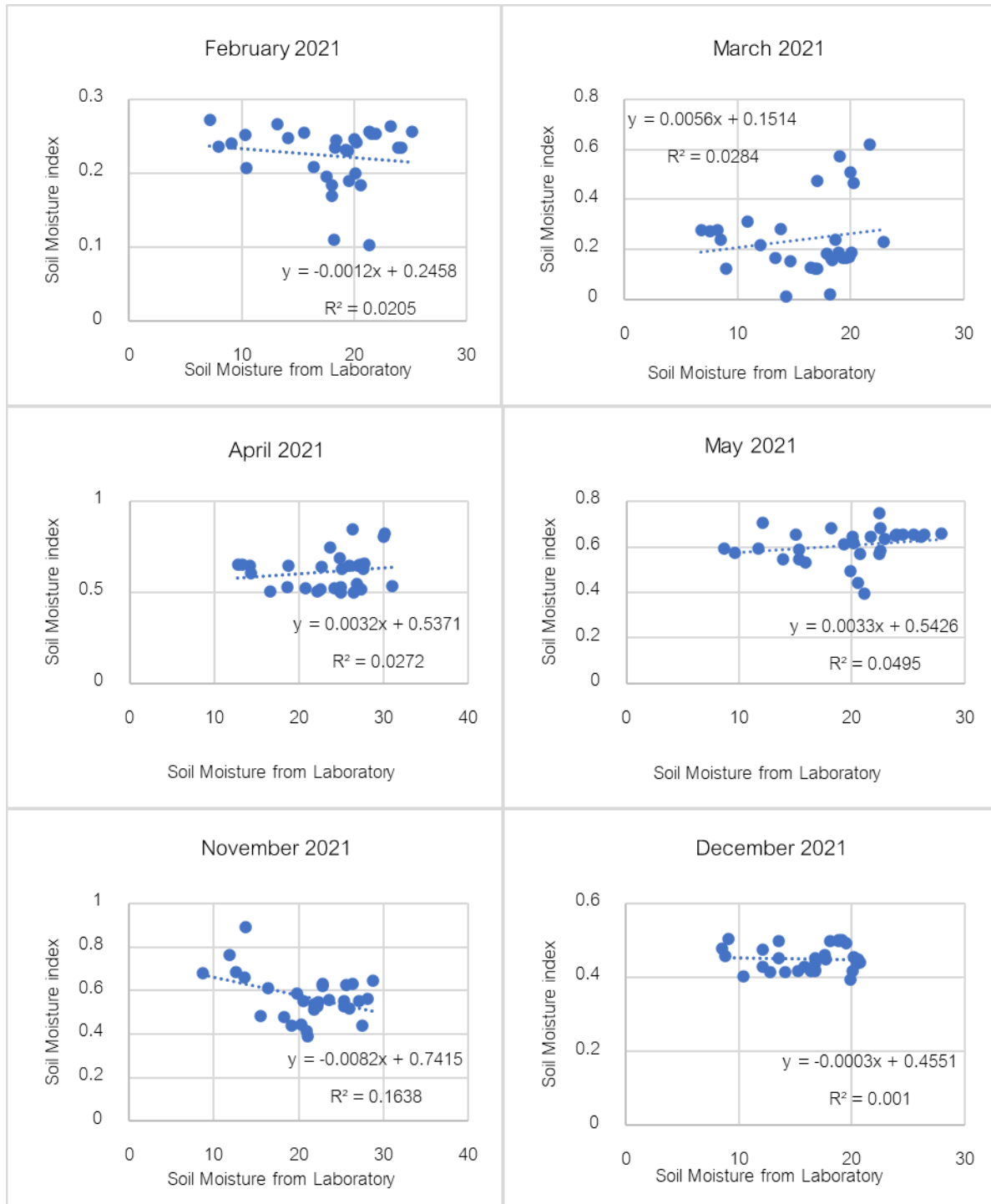


Figure 9 The relationship between Soil Moisture Index and soil moisture from laboratory each month

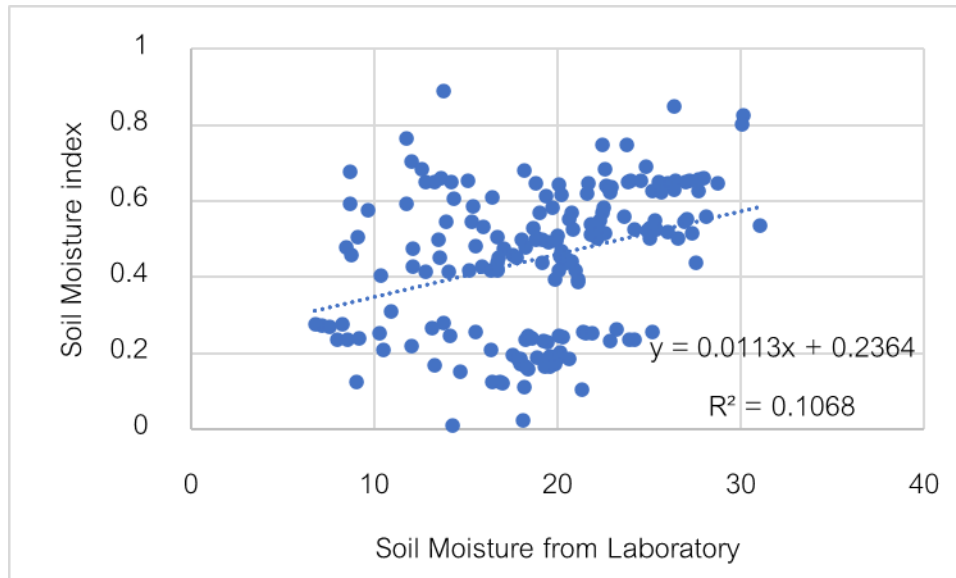


Figure 10 The relationship between Soil Moisture Index and soil moisture from laboratory

Table 2 The correlation coefficient between soil moisture index from satellite images and soil moisture percentage obtained from field samples and laboratory analysis

Period	Correlation Coefficient (r)
February	-0.143
March	0.169
April	0.165
May	0.223
November	-0.405*
December	-0.031
All Data	0.653*

*Correlation is significant at the 0.05 level

นอกจากนี้การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS และค่าร้อยละความชื้นในดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างภาคสนามและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการแต่ละเดือน โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลตัวอย่างดินจากขอบเขตแปลงขนาด 30 x 30 เมตร จำนวน 30 แปลงตัวอย่าง เพื่อศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของทั้งสองชุดข้อมูลมีค่าเท่ากับ 0.653 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าร้อยละความชื้นในดินมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความชื้นในดิน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Sukkasem *et al.* (2020) Chen *et al.* (2015) และ Wang *et al.* (2007) ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียมและความชื้นในดินในพื้นที่ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.49 ถึง 0.82 แสดงให้เห็นถึงวิธีการประเมินความชื้นในดินโดยใช้แผนภาพสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและอุณหภูมิพื้นผิว (Trapezoidal method) สำหรับใช้คำนวณค่าดัชนีความชื้นในดินนั้นสามารถนำมาใช้ในการประเมินความชื้นในดินได้

สรุปผลการวิจัย

การประเมินความชื้นในดินโดยใช้ดัชนีความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS ในปี 2564 ด้วยการสร้างแผนภาพสี่เหลี่ยมคางหมู ที่มาจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณและอุณหภูมิพื้นผิว พบว่า ในพื้นที่ศึกษาเดือนกุมภาพันธ์มีความชื้นในดินเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เดือนมีนาคม เมษายน และ พฤษภาคมตามลำดับ เนื่องจากเป็นกระบวนการเติมความชื้นในดินของระบบนิเวศที่ได้จากน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ในช่วงเดือน พฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคมและสะสมอยู่ในดินตลอดช่วงฤดูฝน โดยการลดลงของความชื้นในดินตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึง พฤษภาคมที่ลดลงตามลำดับเกิดจากกระบวนการปลดปล่อยความชื้นในดินตามช่วงเวลา ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความชื้นในดินที่คำนวณได้จากภาพถ่ายดาวเทียม และค่าร้อยละความชื้นในดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในภาคสนามและนำไปตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมื่อใช้ข้อมูลทุกช่วงเวลาของการศึกษาข้อมูลทั้งสองชุดมีระดับความสัมพันธ์ปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อทำการแยกศึกษาระดับความสัมพันธ์โดยใช้ข้อมูลแต่ละช่วงเดือน พบว่า ข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์ต่ำอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งอาจเกิดได้จากวิธีการประเมินความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียมมักอาศัยการคำนวณจากค่าสถิติของค่าการสะท้อนและการแผ่รังสีของพื้นผิวในแต่ละจุดภาพ หากจุดภาพมีเมฆปกคลุมหรือมีวัตถุที่มีคุณสมบัติดูดกลืนความร้อน อาจทำให้เกิดการรบกวนจากค่าดังกล่าว อีกทั้งในแต่ละช่วงเดือนอุณหภูมิพื้นผิวอาจมีความแปรปรวนไปตามสภาพอากาศหรือฤดูกาลตามช่วงเวลา แต่ลักษณะของพืชพรรณของแต่ละเดือนไม่ได้มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเลือกช่วงเวลาของข้อมูล และในการศึกษาความสัมพันธ์ควรเก็บตัวอย่างด้วยจำนวนที่มากขึ้นทั้งในเชิงพื้นที่ และเชิงเวลาเพื่อให้รูปแบบความสัมพันธ์ที่มีความถูกต้องและชัดเจนมากยิ่งขึ้น



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย และกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม ชุมชนหมู่บ้านป่าสักงาน ตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความร่วมมือสำหรับการเก็บข้อมูล เพื่อศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Duangsrissai S. (2012). Integrating knowledge on upstream management with water management in Thailand. *The Policy-Research Platform (PRP) Project*, 2(25), 1-8 (in Thai)
- Chen, J., Wang, C., Jiang, H., Mao, L., & Yu, Z. (2011). Estimating soil moisture using Temperature–Vegetation Dryness Index (TVDI) in the Huang-huai-hai (HHH) plain. *International Journal of Remote Sensing*, 32(4), 1165-1177.
- Chen, S., Wen, Z., Jiang, H., Zhao, Q., Zhang, X., & Chen, Y. (2015). Temperature vegetation dryness index estimation of soil moisture under different tree species. *Sustainability*, 7(9), 11401-11417.
- Colliander, A., Cosh, M. H., Kelly, V. R., Kraatz, S., Bourgeau-Chavez, L., Siqueira, P., ... & Yueh, S. H. (2020). SMAP detects soil moisture under temperate forest canopies. *Geophysical research letters*, 47(19), e2020GL089697.
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2022). The Thirteenth National Economic and Social Development Plan 2023-2027. Office of the Prime Minister. (in Thai)
- Pa Sak Ngam Community. (2011). Villagers' manual for check dams Pa Sak Ngam Community. Hydro and Agro Informatics Institute Ministry of Science and Technology (in Thai)
- Parida, B. R., Collado, W. B., Borah, R., Hazarika, M. K., & Samarakoon, L. (2008). Detecting drought-prone areas of rice agriculture using a MODIS-derived soil moisture index. *GIScience & Remote Sensing*, 45(1), 109-129.



- Peng, W., Wang, J., Zhang, J., & Zhang, Y. (2020). Soil moisture estimation in the transition zone from the Chengdu Plain region to the Longmen Mountains by field measurements and LANDSAT 8 OLI/TIRS-derived indices. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(4), 1-13.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of environment*, 79(2-3), 213-224.
- Sukkasem, T., Sittichok, K., & Chompuchan, C. (2020). An Analysis of Drought in Phetchaburi River Basin using TVDI Derived from MODIS Data. *Thaksin University Journal*, 23(2), 74-83. (in Thai)
- Wang, L., Qu, J. J., Zhang, S., Hao, X., & Dasgupta, S. (2007). Soil moisture estimation using MODIS and ground measurements in eastern China. *International Journal of Remote Sensing*, 28(6), 1413-1418.
- Wongrattana, C. (1998). Techniques for using statistics for research (7th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Book Center. (in Thai)
- Zhan, Z., Qin, Q., & Wang, X. (2004). The application of LST/NDVI index for monitoring land surface moisture in semiarid area. In IGARSS 2004. *2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3, 1551-1554.