



ดัชนีเผาไหม้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และข้อจำกัดในการใช้งาน

Burn indices from Landsat 8 : Restrictions on Its Application

ธนพล ขำเรืองวงศ์ และ ดารอนวรรณ กำธรเกียรติ

Thanapol Khamrueangwong and Daroonwan Kamthonkiat

สาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Department of Geography, Faculty of Liberal Arts, Thammasat University

Received : 12 August 2020

Revised : 10 September 2020

Accepted : 8 October 2020

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์กับภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนดแซท 8 (Landsat 8) ที่บันทึกในเดือนมีนาคมและเมษายน ปี 2559 ซึ่งเป็นเดือนที่มีการเผาไหม้สูงสุดในรอบปีของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มาคำนวณดัชนีเผาไหม้ที่นิยมใช้จำนวน 5 ดัชนี ได้แก่ ดัชนี Normalized Burn Ratio (NBR) ดัชนี Normalized Burn Ratio Thermal (NBRT) ดัชนี Burn Area Index (BAI) ดัชนี Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) และดัชนี Relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพ 3 ด้าน คือ 1) ด้านความแม่นยำในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ ด้วยการนำมาหาความสอดคล้องกับพื้นที่เผาไหม้ในปี 2559 ในจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่วิเคราะห์ไว้ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่นำมาใช้เป็นแหล่งอ้างอิง 2) ด้านความละเอียดในการแยกพื้นที่เผาไหม้ตามระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ และ 3) การวิเคราะห์ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้รับผลกระทบหรือเป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ ผลการศึกษา พบว่า ดัชนี dNBR และดัชนี RdNBR มีความแม่นยำร้อยละ 67 และ 64 ตามลำดับ ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง และทั้งสองดัชนีมีศักยภาพในการจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ได้ 5 ระดับ แต่ดัชนี RdNBR ยังมีข้อจำกัดในการแยกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ได้ไม่ค่อยชัดเจน ในขณะที่ดัชนีอื่นนั้นสามารถแยกพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้และไม่ถูกเผาไหม้ได้ แต่มีความแม่นยำน้อยกว่า ส่วนความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้ของแต่ละดัชนี พบว่า ดัชนี RdNBR มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด โดยแสดงการซ้อนทับกับแหล่งน้ำ และพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่น่าจะถูกเผาไหม้น้อยที่สุด ผลจากการศึกษานี้ จะมีประโยชน์แก่ผู้สนใจหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการเลือกใช้และพัฒนาดัชนีเผาไหม้ต่อไป

คำสำคัญ : ดัชนีเผาไหม้ ; แลนดแซท 8 ; แม่ฮ่องสอน ; ดัชนี dNBR ; ดัชนี RdNBR



Abstract

This study aims to understand the widely potential use of burn indices; Normalized Burn Ratio (NBR), Normalized Burn Ratio Thermal (NBRT), Burn Area Index (BAI), Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR), and Relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR). Landsat 8 imageries recorded in March and April 2016, the peak of burning period in Mae Hong Son Province are investigated. Three aspects were analyzed; 1) the accuracy or consistency of mapping burned area compared to the reference burned area in 2016 reported by Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) or GISTDA 2) the burn severity and 3) the identification of burn impacted land uses/land covers. Results from this study show that NBR and RdNBR had higher corresponded (around 60%) to the reference than other burned indices. Five burn severity levels; Enhanced Regrowth, Unburnt, Low Severity, Moderate Severity and High Severity were identified clearly by dNBR. Although RdNBR could be used to classify 5 level of burn severity, but some overlapping between classes were found. Other indices may applicable in separating burn and unburnt areas but they have poor classification ability on burn severity levels. Identifying burnt impacted areas, RdNBR presented the most reliable differentiation of water bodies and built-up and others in compare with other indices. The results from this study can be benefit to those interested researchers and related agencies in selecting the suitable identification of burn index for further use or developing techniques.

Keywords : burn Index ; Landsat 8 ; Mae Hong Son ; dNBR ; RdNBR



บทนำ

ปัญหาการเผาไหม้พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปีในประเทศไทย โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่อากาศร้อนและแห้งจนเกิดไฟลุกลามตามธรรมชาติ ในขณะที่เดียวกันก็เป็นช่วงเดียวกันกับการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกก่อนเริ่มเข้าสู่ฤดูเพาะปลูก โดยการสำรวจพื้นที่เผาไหม้ที่เกิดขึ้นในบริเวณกว้างและหลายแห่งทำให้ยากแก่การเข้าถึงนั้น หากอาศัยแรงงานมนุษย์ย่อมต้องใช้กำลังคน เวลา และงบประมาณมาก อีกทั้งยังทำให้ได้ข้อมูลไม่ทันการณ์สำหรับการนำไปใช้ในการติดตามสถานการณ์และวางแผนแก้ปัญหาให้รวดเร็วและตรงจุด ด้วยเหตุนี้ การสำรวจจากระยะไกลด้วยดาวเทียมจึงเข้ามามีบทบาทต่อการสำรวจพื้นที่ถูกเผาไหม้ มีการใช้ข้อมูลจุดความร้อนปกติหรือผิปกติ (Hot spot) ที่บันทึกจากดาวเทียม Terra/Aqua ระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) และจุดความร้อนผิปกติจากดาวเทียม Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP) มาศึกษาตำแหน่งที่กำลังถูกเผาไหม้ และการวิเคราะห์ขนาดของพื้นที่เสียหายหลังจากการถูกเผาด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีหลายรายละเอียดจุดภาพหรือเห็นรายละเอียดพื้นที่ตั้งแต่ระดับหลายกิโลเมตรจนถึงระดับต่ำกว่า 1 เมตร โดยภาพถ่ายจากดาวเทียมมีหลายช่วงคลื่นให้เลือกใช้เพื่อนำมาผสมสีหรือคำนวณดัชนีเผาไหม้เพื่อให้เห็นพื้นที่เผาไหม้เด่นชัดขึ้นกว่าพื้นที่รอบๆ ที่ไม่ถูกเผา (Wang *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2016; Chuvieco *et al.*, 2002) โดยบางดัชนีมีการพัฒนาให้สามารถวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ (Cardil *et al.*, 2019; Klinger *et al.*, 2019; Collins *et al.*, 2018; Rozario *et al.*, 2018; Tran *et al.*, 2018; Epting *et al.*, 2005; Veraverbeke *et al.*, 2010; Keeley, 2009; Miller and Thode, 2007; Epting *et al.*, 2005) พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดการเผาไหม้ (Rozario *et al.*, 2018;) พื้นที่ที่เกิดการเผาไหม้ซ้ำซากที่ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา (ก่อนและหลังการเผาไหม้) มาวิเคราะห์ (Lui *et al.*, 2020; Fornacca *et al.*, 2018) รวมถึงการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลพื้นที่เผาไหม้ในพื้นที่และในภาพถ่ายจากดาวเทียม ทั้งช่วงคลื่นปกติและการแปลงเป็นดัชนีพืชพรรณและดัชนีเผาไหม้ต่างๆ (Escuin *et al.*, 2008)

ดังจะเห็นได้ว่า การประยุกต์การสำรวจจากระยะไกลในการศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้มีมานานแล้ว และยังคงอยู่ในความสนใจของผู้วิจัยในสาขาต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน โดยมีการใช้ดัชนีหรือช่วงคลื่นทั้งที่เหมือนและแตกต่างกันมาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ในพื้นที่ศึกษาหลายลักษณะและในช่วงเวลาต่างๆ กัน สำหรับงานวิจัยนี้ มีการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อรวบรวมดัชนีที่นิยมใช้และถูกระบุในหลายงานว่า มีประสิทธิภาพในการศึกษาพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ ได้แก่ ดัชนี Normalized Burn Ratio (NBR) ดัชนี Normalized Burn Ratio Thermal (NBRT) ดัชนี Burn Area Index (BAI) ดัชนี Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) และดัชนี Relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) มาศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพกัน ใน 3 ประเด็น คือ ความแม่นยำในการวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ ศักยภาพการแยกแยะระดับความรุนแรงและความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์พื้นที่ได้รับผลกระทบจากการถูกเผาไหม้ ซึ่งในปัจจุบัน ยังไม่พบว่า มีงานวิจัยที่การศึกษาในลักษณะดังกล่าวในพื้นที่ศึกษาที่เป็นป่าและเกษตรกรรมบนที่สูงดังเช่นจังหวัดแม่ฮ่องสอนซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยผลจากการศึกษาศักยภาพของดัชนีต่างๆ เหล่านี้ จะช่วยให้เข้าใจถึงจุดแข็งและข้อจำกัดของแต่ละดัชนีมากขึ้น สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจเลือกใช้ดัชนีที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และลักษณะของพื้นที่ศึกษาหรือนำข้อจำกัดของดัชนีต่างๆ ไปเป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพของดัชนีเผาไหม้เพื่อให้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้มากขึ้น



วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพด้านความแม่นยำ การจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ และความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้ของแต่ละดัชนีที่ศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

ในส่วนนี้จะอธิบายแยกเป็น 3 ส่วนย่อย คือ ลักษณะของพื้นที่ศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และขั้นตอนการวิจัย

ลักษณะของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีเนื้อที่ประมาณ 7,925,812.50 ไร่ ประกอบด้วย 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอขุนยวม อำเภอปางมะผ้า อำเภอปาย อำเภอแม่ลาน้อย อำเภอแม่สะเรียง อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน และอำเภอสบเมย มีอาณาเขตติดต่อกับประเทศเมียนมาทางทิศเหนือและทิศตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดตากทางทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดเชียงใหม่ทางทิศตะวันออก และ ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นทิวเขาสูง โดยทิวเขาที่สำคัญ ได้แก่ ทิวเขาแดนลาว และทิวเขาถนนธงชัย ประชากรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ประมาณ 80.00% มีอาชีพการทำเกษตรกรรม มีการปลูกข้าวโพด ข้าวนาปี และพืชไร่ต่างๆ โดยพบการปลูกข้าวโพดมากบนที่สูง (Maehongson Provincial Office, 2018) โดยจังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นหนึ่งในหลายจังหวัดที่มีการเผาไหม้สูงทุกปี ทั้งจากการเผาไหม้ที่เกิดในพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่เกษตรกรรมบนที่สูง มีรายงานการดับไฟของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ระหว่างปี 2559 – 2563 คือ จำนวน 391 ครั้ง (พื้นที่ถูกเผาไหม้ 1,009,619 ไร่) 298 ครั้ง (พื้นที่ถูกเผาไหม้ 2,109,828 ไร่) 367 ครั้ง (พื้นที่ถูกเผาไหม้ 1,227,614 ไร่) 500 ครั้ง (พื้นที่ถูกเผาไหม้ 1,528,375 ไร่) และ 334 ครั้ง (พื้นที่ถูกเผาไหม้ 4,123.8 ไร่) ตามลำดับ หรือโดยเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 300 ครั้งต่อปี และพบการเผาไหม้ระหว่างปี 2559 – 2563 ไม่สัมพันธ์กับจำนวนครั้งที่ดับไฟ เช่น ในปี 2559 มีพื้นที่เผาไหม้น้อยกว่าปี 2560 ประมาณครึ่งหนึ่งแต่มีจำนวนครั้งของการดับไฟมากกว่า เนื่องจากมีการแจ้งเหตุไฟไหม้ในปี 2559 ได้เร็วและถี่กว่าในปี 2560 ทำให้สามารถควบคุมไม่ให้พื้นที่ถูกเผาไหม้ขยายวงกว้างเหมือนที่เกิดในปี 2560 ซึ่งมีจำนวนครั้งของการดับไฟน้อยกว่า เมื่อเกิดการเผาไหม้แต่ดับไฟน้อยกว่าจึงมีพื้นที่เสียหายมากกว่าในปี 2559 นั่นเอง ส่วนช่วงที่มีการเผาไหม้พื้นที่มากที่สุด คือ ในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนของทุกปี (Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, 2020; GISTDA, 2020)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โปรแกรมประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียม Environment for Visualizing Images (ENVI) โปรแกรมด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS และโปรแกรม Microsoft Office สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ 1) ภาพถ่ายจากดาวเทียม แลนด์แซท 8 (Path: 131 – Row: 47) จากหน่วยงาน United States Geological Survey หรือ USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>) โดยการวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ด้วยสมการของดัชนี dNBR และ RdNBR ต้องใช้ภาพ 2 ช่วงเวลาสำหรับการเปรียบเทียบหรือใช้ในการคำนวณ จึงเลือกใช้ภาพวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ.2559 แทนช่วงก่อนการเผาไหม้ (Pre-fire) และใช้ภาพวันที่ 26 เมษายน พ.ศ.2559 แทนช่วงหลังการเผาไหม้ (Post-fire) ส่วนดัชนีอื่นๆ จะใช้ภาพเดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ที่เป็นช่วงที่มีการเผาไหม้ในพื้นที่สูงสุดเป็นหลัก 2) แผนที่เชิงเลขแสดงพื้นที่เผาไหม้ของทั้งปี 2559 ที่วิเคราะห์ด้วยดัชนีเผาไหม้ (dNBR) ร่วมกับการแปลด้วยสายตาโดยใช้ภาพถ่ายจาก



ดาวเทียมแลนด์แซท 8 ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ สทอภ. มีชื่อภาษาอังกฤษ คือ Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) และมักเรียกย่อว่า GISTDA (GISTDA, 2015; 4) มาเป็นแหล่งอ้างอิงและใช้หาความสอดคล้องหรือเปรียบเทียบกับพื้นที่เผาไหม้ของดัชนีทั้ง 5 ที่ศึกษาในครั้งนี้ และ 3) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2559 ของกรมพัฒนาที่ดินมาซ้อนทับกับพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของแต่ละดัชนี เพื่อหาประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่ได้รับผลกระทบหรือถูกเผาไหม้

ขั้นตอนการวิจัย

ในการเตรียมภาพถ่ายจากดาวเทียมให้พร้อมก่อนการวิเคราะห์นั้น ได้นำภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 มาปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Correction) ด้วยวิธี Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) ในโปรแกรม ENVI จนได้ภาพที่มีลักษณะเป็นค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface reflectance) ที่จะนำไปแปลงเป็นดัชนีเผาไหม้ โดยในการศึกษานี้ ได้ใช้ดัชนีการเผาไหม้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านการสำรวจพื้นที่ถูกเผาไหม้ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมจำนวน 5 ดัชนี คือ ดัชนี NBR ดัชนี NBRT ดัชนี BAI ดัชนี dNBR และดัชนี RdNBR (USGS, 2019; ENVI, 2019; Harris Geospatial Solutions, Inc., 2018; Wasser and Cattau, 2017) ดังสมการลำดับที่ (1) – (5) ดังต่อไปนี้

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \tag{1}$$

โดย NIR คือ ค่าความสว่างจุดภาพจากแบนด์ RED หรือช่วงคลื่นสีแดง
SWIR คือ ค่าความสว่างจุดภาพจากแบนด์ SWIR หรือช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น

$$NBRT = \frac{\left(NIR - SWIR \left(\frac{Thermal}{1000} \right) \right)}{\left(NIR + SWIR \left(\frac{Thermal}{1000} \right) \right)} \tag{2}$$

โดย NIR คือ ค่าความสว่างจุดภาพจากแบนด์ NIR หรือช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
SWIR คือ ค่าความสว่างจุดภาพจากแบนด์ SWIR หรือช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น
Thermal คือ ค่าความสว่างจุดภาพจากแบนด์ Thermal หรือช่วงคลื่นความร้อน



$$BAI = \frac{1}{(0.1-Red)^2+(0.06-NIR)^2} \quad (3)$$

โดย RED คือ ค่าความสว่างจุดภาพจากแบนด์ RED หรือช่วงคลื่นสีแดง
 NIR คือ ค่าความสว่างจุดภาพจากแบนด์ NIR หรือช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

$$dNBR = PreFireNBR - PostFireNBR \quad (4)$$

โดย PreFireNBR คือ ค่าดัชนี NBR ช่วงก่อนเกิดการเผาไหม้
 PostFireNBR คือ ค่าดัชนี NBR ช่วงหลังเกิดการเผาไหม้

$$RdNBR = \left(\frac{dNBR}{\sqrt{Absolute\left(\frac{PreFireNBR}{1000}\right)}} \right) \quad (5)$$

โดย PreFireNBR คือ ค่าดัชนี NBR ช่วงก่อนเกิดการเผาไหม้
 dNBR คือ ค่าผลต่างระหว่างค่าดัชนี NBR ช่วงก่อนและหลังเกิดการเผาไหม้
 Absolute คือ ค่าสัมบูรณ์

โดยรายละเอียดของช่วงคลื่นที่ใช้ในการคำนวณสมการข้างต้น มาจากช่วงคลื่นที่สำรวจโดยดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) และ Thermal Infrared Sensor (TIRS) หลังได้ภาพดัชนีเผาไหม้ทั้ง 5 ดัชนีแล้ว จะตรวจสอบความถูกต้องของช่วงค่าข้อมูลในภาพดัชนีกับแหล่งอ้างอิงจากการทบทวนวรรณกรรม หากมีช่วงค่าผิดปกติจะแก้ไขก่อนนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

- 1) วิเคราะห์ศักยภาพด้านความแม่นยำในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ โดยการเปรียบเทียบหรือหาความสอดคล้องของพื้นที่เผาไหม้ของแต่ละดัชนีกับพื้นที่เผาไหม้ในปี 2559 ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่วิเคราะห์โดย GISTDA ที่นำมาใช้เป็นแหล่งอ้างอิง โดยตัดข้อมูลให้เท่ากับพื้นที่ศึกษาในภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ครอบคลุมพื้นที่ 6,611,717.81 ไร่ หรือคิดเป็น 83.42% จากพื้นที่ทั้งจังหวัด (7,925,812.50 ไร่) และนำข้อมูลเฉพาะพื้นที่ถูกเผาไหม้จากทั้งสองแหล่งมาหาพื้นที่ที่ซ้อนทับหรือพิจารณาความสอดคล้องกัน
- 2) วิเคราะห์ศักยภาพในการจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ จะอ้างอิงช่วงค่าระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ 5 คลาส/ระดับ ที่วิเคราะห์จากดัชนี dNBR จากการทบทวนวรรณกรรม (Wasser and Cattau, 2017) คือ พื้นที่ที่มีการปลูกใหม่หลังการเผาไหม้ (Enhanced Regrowth) มีค่าระหว่าง -1.0000 ถึง -0.2100 พื้นที่ที่ไม่ถูกเผาไหม้ (Unburnt) มีค่ามากกว่า -0.2100 ถึง 0.1000 พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ไม่รุนแรงหรือเสียหายระดับต่ำ

(Low Severity) มีค่ามากกว่า 0.1001 ถึง 0.2600 พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้รุนแรงหรือเสียหายปานกลาง (Moderate Severity) มีค่ามากกว่า 0.2600 ถึง 0.6500 และพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้รุนแรงหรือเสียหายระดับสูง (High Severity) มีค่ามากกว่า 0.6500 to 1.0000 โดยจะนำค่าอ้างอิงเหล่านี้มาทำ density slicing ในภาพ dNBR ที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ (ใช้ภาพเต็ม ไม่ได้กันเฉพาะพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้เหมือนการวิเคราะห์ในข้อ 1) และ 3)) แล้วจึงทำพื้นที่ตัวแทนของพื้นที่เผาไหม้แต่ละระดับ เพื่อนำไปใช้ซ้อนทับในภาพดัชนีอื่นและวิเคราะห์ช่วงค่า และทำ density slicing ต่อไป

- 3) วิเคราะห์ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาที่ถูกเผาไหม้ โดยการนำพื้นที่เผาไหม้ของแต่ละดัชนีที่คำนวณจากภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ในเดือนมีนาคม ปี 2559 (เฉพาะพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ที่สอดคล้องกับพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของ GISTDA) มาซ้อนทับ (Overlay) เพื่อหาความสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2559 ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยนำข้อมูลเฉพาะพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้จากทั้งสองแหล่งมาหาพื้นที่ที่ซ้อนทับกัน หรือพิจารณาความสอดคล้องกันกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน 4 ประเภทหลัก คือ ป่าไม้ (Forest) เกษตรกรรม (Agriculture) สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ (Built-up and Others) และแหล่งน้ำ (Water) โดยในที่นี้ จะพิจารณาว่า พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของดัชนีใดทับซ้อนกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่ไม่น่าเป็นไปได้ เช่น การเผาไหม้ซ้อนทับกับพื้นที่แหล่งน้ำ หรือสิ่งปลูกสร้าง มากที่สุด ก็แสดงถึงความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบของดัชนีได้อีกทางหนึ่ง

ในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดเรื่องความทันสมัยของข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่ต้องใช้ในการศึกษานี้ อาทิ ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 จากหน่วยงาน USGS ที่มีเมฆปะปนน้อย ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินของกรมพัฒนาที่ดิน และพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้จาก GISTDA ที่ใช้เป็นแหล่งอ้างอิง มีความครบถ้วนหรือมีความสอดคล้องในช่วงปี 2559 มากที่สุด ถึงแม้ข้อมูลจะไม่ใช่อัจจุบันหรือทันสมัย แต่สามารถนำมาใช้ศึกษาเพื่อตอบวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ศักยภาพ 3 ด้าน ได้แก่

ผลการวิเคราะห์ศักยภาพด้านความแม่นยำในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้

ภาพดัชนีทั้ง 5 ดัชนี มีช่วงค่าที่ไม่เท่ากัน โดยภาพดัชนี NBR และดัชนี NBRT มีช่วงค่าระหว่าง -1 ถึง 1 โดยพื้นที่เผาไหม้จะมีค่าเข้าใกล้ -1 แต่ในทางกลับกันพื้นที่เผาไหม้ของภาพดัชนี dNBR ก็มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 เช่นกัน แต่พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้จะมีค่าเข้าใกล้ 1 ส่วนค่าดัชนีในภาพดัชนี BAI และ RdNBR จะไม่มีช่วงค่าที่แน่นอน โดยค่ายิ่งสูง จะหมายถึง พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ ซึ่งช่วงค่าและขนาดของพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ที่วิเคราะห์จากดัชนีทั้ง 5 ดัชนี รวมถึงพื้นที่เผาไหม้ของแต่ละดัชนีที่สอดคล้องกับพื้นที่เผาไหม้ปี 2559 จากแหล่งอ้างอิง หรือ GISTDA ได้นำเสนอในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** พื้นที่เผาไหม้ของดัชนีที่สอดคล้องกับพื้นที่เผาไหม้จาก GISTDA


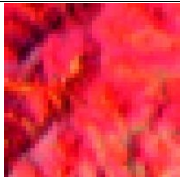
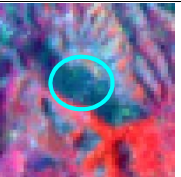
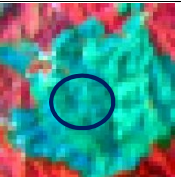
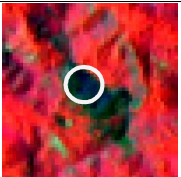
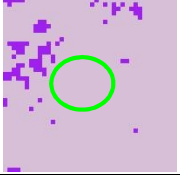
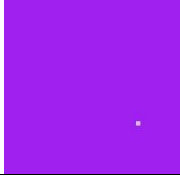
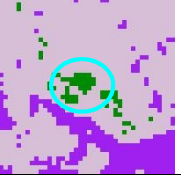
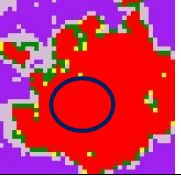
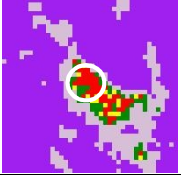
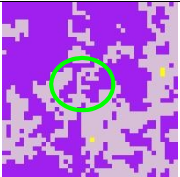
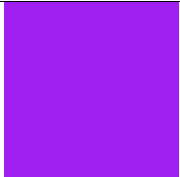
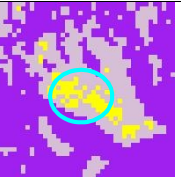
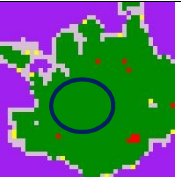

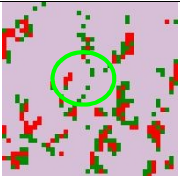
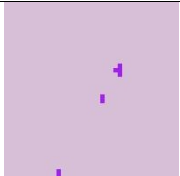
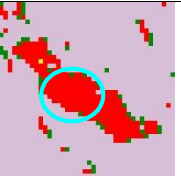
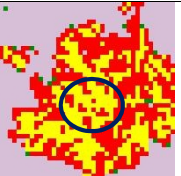
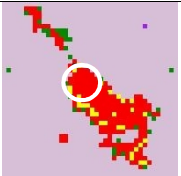
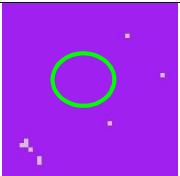
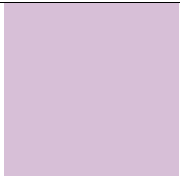

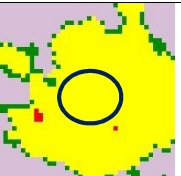
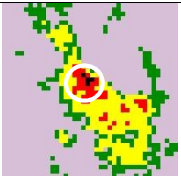
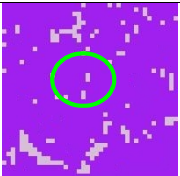
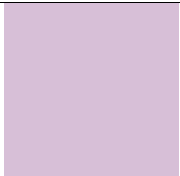
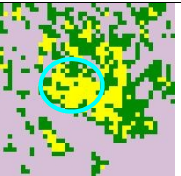
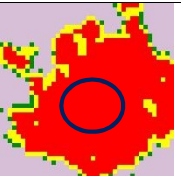
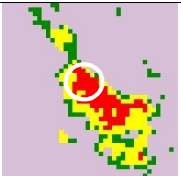
ดัชนี	ช่วงค่าดัชนี	พื้นที่เผาไหม้ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่เผาไหม้ที่สอดคล้องกับแหล่งอ้างอิง
NBR	-1 ถึง +1	502,806.38	56.67
NBRT	-1 ถึง +1	312,863.63	35.26
BAI	0 ถึง 18034.24	194,194.69	21.89
dNBR	-1 ถึง +1	596,700.56	67.26
RdNBR	-1090.41 ถึง 478.59	576,747.00	63.92
GISTDA		887,205.38	แหล่งอ้างอิง

ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ที่วิเคราะห์จากดัชนีทั้ง 5 ดัชนี กับพื้นที่เผาไหม้ปี 2559 ของ GISTDA จำนวน 887,205.38 ไร่ (ตัดพื้นที่ให้เท่ากับพื้นที่ในภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ที่ใช้ในการศึกษานี้ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 83.42 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด) พบว่า พื้นที่เผาไหม้ที่วิเคราะห์ด้วยดัชนี dNBR มีความสอดคล้องกับพื้นที่เผาไหม้ของ GISTDA มากที่สุด คือ ร้อยละ 67.26 เนื่องจากเป็นดัชนีเดียวกันกับที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของ GISTDA รองลงมา คือ RdNBR (ร้อยละ 63.92) NBR (ร้อยละ 56.67) NBRT (ร้อยละ 35.26) และ BAI (ร้อยละ 21.89) ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของหน่วยงาน GISTDA วิเคราะห์มาจากรายการภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม ของปี 2559 แต่พื้นที่เผาไหม้ในการศึกษานี้ใช้ภาพถ่ายชนิดเดียวกัน แต่ครอบคลุมช่วงเวลาไม่ถึง 2 เดือน (มีนาคมถึงเมษายน) ด้วยเหตุนี้ พื้นที่เผาไหม้จากดัชนี dNBR ของ GISTDA และจากงานวิจัยนี้จึงสอดคล้องกันไม่ถึง 70% (67.26%)

ผลการวิเคราะห์ศักยภาพในการจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้

จากการศึกษาช่วงค่าในดัชนี dNBR ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและในการศึกษานี้ สามารถระบุค่าดัชนีแยกตามระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ได้ 5 ระดับ เมื่อใช้ค่าดังกล่าวมาทำ density slicing ในภาพ dNBR ที่วิเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ ทำให้สามารถสร้างพื้นที่ตัวแทนระดับการเผาไหม้ จำแนกระดับความรุนแรง ของการเผาไหม้เป็นโดยได้แสดงพื้นที่ที่มีการปลูกใหม่หลังการเผาไหม้ หรือ Enhanced Regrowth (แทนด้วยสีม่วงเข้ม) พื้นที่ไม่ถูกเผาไหม้หรือ Unburnt (แทนด้วยสีม่วงอ่อน) พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้รุนแรงระดับต่ำหรือ Low Severity (แทนด้วยสีเขียว) พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้รุนแรงระดับปานกลางหรือ Moderate Severity (แทนด้วยสีเหลือง) และพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้รุนแรงระดับสูงหรือ High Severity (แทนด้วยสีแดง) โดยช่วงค่าและพื้นที่ตัวแทนของการเผาไหม้แต่ละระดับความรุนแรงได้แสดงในตารางที่ 2 และมีการเน้นแสดงพื้นที่ขนาดเล็กในภาพเพื่อให้สังเกตเห็นและเปรียบเทียบพื้นที่ขนาดเล็กได้อย่างชัดเจนขึ้นด้วยการใช้วงกลมครอบพื้นที่ดังกล่าว ส่วนช่วงค่าที่ระบุในตารางจะสัมพันธ์กับระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ โดยดัชนีส่วนใหญ่จะมีค่ายิ่งมากหรือยิ่งเข้าใกล้ 1 แทนพื้นที่ที่มีระดับความรุนแรงในการเผาไหม้สูง ในขณะที่ค่าเข้าใกล้ 1 ในดัชนี NBR และ NBRT จะหมายถึง พื้นที่ที่มีการปลูกใหม่หลังการเผาไหม้ แต่ยังมีค่าต่ำหรือเข้าใกล้ -1 หมายถึง พื้นที่ที่มีระดับความรุนแรงในการเผาไหม้สูง ดังนั้น การนำเสนอช่วงค่าข้อมูลในตารางที่ 2 จะเรียงจากระดับความรุนแรงของการเผาไหม้แทนการเรียงค่าจากน้อยไปหามาก

ตารางที่ 2 การจำแนกพื้นที่เผาไหม้และช่วงค่าของการเผาไหม้ 5 ระดับของแต่ละดัชนี

	Enhanced Regrowth	Unburned	Low Severity	Moderate Severity	High Severity
Landsat 8 (False Color)					
NBR					
	1.0000 to 0.2500	< 0.2500 to 0.1500	< 0.1500 to 0.0500	< 0.0500 to -0.0200	< -0.0200 to -1.0000
NBRT					
	1.0000 to 0.1500	< -0.1500 to -0.5500	< -0.5500 to -0.6800	< -0.6800 to -0.7300	< -0.7300 to -1.0000
BAI					
	0.0000 to < 33.1000	> 33.1000 to 67.8200	> 67.8200 to 104.9400	> 104.9400 to 195.0000	> 195.0000 to 416.9900
dNBR					
	-1.0000 to -0.2100	> -0.2100 to 0.1000	> 0.1001 to 0.2600	> 0.2600 to 0.6500	> 0.6500 to 1.0000
RdNBR					
	-906.5505 to -15.0000	> 15.0000 to 11.0000	> 11.0000 to 28.0000	> 28.0000 to 69.9400	> 69.9400 to 478.5900

จากตารางที่ 2 มีการแสดงตัวอย่างพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้แต่ระดับความรุนแรงในภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ที่ผสมสีภาพแบบสีเท็จ หรือ False color composite ที่ทำให้เห็นพืชสมบูรณแข็งแรงเป็นสีแดง และแสดงข้อมูล ณ ตำแหน่งเดียวกันกับภาพดัชนีเผาไหม้ พร้อมกับช่วงค่าที่วิเคราะห์จากพื้นที่ตัวอย่างในภาพทั้ง 5 ดัชนี โดยมีการกำหนดสีแทนพื้นที่แต่ละคลาสหรือแต่ละระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ไว้แล้ว เมื่อพบว่า สีที่ปรากฏไม่ตรงตามเกณฑ์หรือสอดคล้องตามที่กำหนด แสดงว่า ดัชนีดังกล่าวไม่สามารถแบ่งช่วงหรือแยกความรุนแรงของการเผาไหม้ออกจากกันได้อย่างเด็ดขาด ดังจะอธิบายเพิ่มเติมดังนี้

- ดัชนี NBR สามารถแยกพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้และพื้นที่ไม่ถูกเผาไหม้ออกจากกันได้ ในขณะที่ช่วงค่าของพื้นที่ระดับ Enhanced Regrowth ปะปนกับ Unburnt ซึ่งพื้นที่ Unburnt ในดัชนี NBR จะมีค่าเข้าใกล้ 1 หรือมีค่าสูงกว่าระดับ Enhanced Regrowth อีกทั้งยังไม่สามารถแยกพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ระดับต่ำ ปานกลาง และสูงออกจากกันอย่างชัดเจน ส่วนระดับการเผาไหม้รุนแรงปานกลางปะปนกับและการเผาไหม้รุนแรงระดับสูง ส่วนการเผาไหม้ระดับรุนแรงต่ำพบว่า ปะปนกับระดับ Enhanced Regrowth และ Unburnt
- ดัชนี NBRT ไม่สามารถแยกระดับ Enhanced Regrowth และ Unburnt ออกจากกันได้ โดยพื้นที่เผาไหม้รุนแรงระดับปานกลางและสูงจะมีค่าการเผาไหม้เป็นรุนแรงระดับต่ำและ Unburnt เล็กน้อย ในขณะที่พื้นที่เผาไหม้รุนแรงระดับต่ำจะมีค่าระดับรุนแรงปานกลางและปะปนกับ Unburnt
- ดัชนี BAI สามารถแยกค่าระหว่างพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้กับพื้นที่ไม่ถูกเผาไหม้ได้ดี แต่ค่าระดับความรุนแรงของการเผาไหม้จะไม่สามารถแยกออกจากกันอย่างชัดเจน โดยพื้นที่เผาไหม้ส่วนใหญ่จะแสดงเป็นการเผาไหม้ระดับรุนแรงปานกลางและสูง ในขณะที่ Unburnt และ Enhanced Regrowth ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ อีกทั้งยังพบว่า บางส่วนของ Enhanced Regrowth ปะปนกับพื้นที่เผาไหม้รุนแรงระดับต่ำและสูง
- ดัชนี dNBR สามารถแสดงพื้นที่เผาไหม้และช่วงค่าตามระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ทั้ง 5 ระดับ ได้ชัดเจน ด้วยเหตุนี้ จึงใช้เป็นภาพอ้างอิงในการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของการเผาไหม้ทั้ง 5 ระดับ และนำพื้นที่ดังกล่าวไปศึกษาช่วงค่าและแยกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ในภาพดัชนีอื่นๆ
- ดัชนี RdNBR ไม่สามารถแยกพื้นที่เผาไหม้รุนแรงระดับต่ำและปานกลางออกจากกันอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับกับการเผาไหม้รุนแรงระดับปานกลางและสูงก็ไม่สามารถแยกออกจากกันอย่างเด็ดขาด ในขณะที่พื้นที่ Enhanced Regrowth และ Unburnt สามารถแยกออกจากกันได้ แต่ยังไม่ชัดเจนเท่าดัชนี dNBR

นอกจากนี้ ช่วงค่าและสีคลาสในตารางที่ 2 พบว่า มีการแสดงสีไม่ตรงกับที่กำหนด แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดในการแยกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ ดังที่ปรากฏในผลของดัชนี NBR NBRT และ BAI นั้นเอง

ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการหาพื้นที่ได้รับผลกระทบ

การนำพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของแต่ละดัชนีมาหาความสัมพันธ์ในลักษณะการซ้อนทับกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน ปี 2559 จากกรมพัฒนาที่ดิน โดยพิจารณาเฉพาะประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน 4 ประเภทหลักคือ ป่าไม้ (Forest) เกษตรกรรม (Agriculture) สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ (Built-up and Others) และแหล่งน้ำ (Water) ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้ในปี 2559 โดยในตารางที่ 3 จะเรียงลำดับดัชนีที่มีพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้สอดคล้องกับ



แหล่งอ้างอิงมากที่สุดไว้ลำดับแรกในตารางและลดหลั่นลงไปตามระดับความสอดคล้องหรือแม่นยำ (ผลจาก 4.1 หรือใช้พื้นที่ถูกเผาไหม้ของแต่ละดัชนีที่สอดคล้องกับพื้นที่ถูกเผาไหม้ของ GISTDA) แต่เนื่องจากขนาดของพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของแต่ละดัชนีไม่เท่ากัน จึงคิดเป็นร้อยละของพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของแต่ละดัชนีที่ซ้อนทับกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินทั้ง 4 ประเภท ซึ่งผลการศึกษาที่น่าเสนอในตารางที่ 3 จะช่วยให้เข้าใจได้ว่า ดัชนีใดมีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้มากที่สุด โดยพิจารณาจากการที่พื้นที่เผาไหม้ซ้อนทับกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่ไม่เผาไหม้ เช่น แหล่งน้ำหรือสิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ มากที่สุด

ตารางที่ 3 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่ถูกเผาไหม้

ดัชนี เผาไหม้	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน				
	ป่าไม้	เกษตรกรรม	สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ	แหล่งน้ำ	รวม
dNBR	50.69	48.44	0.26	0.62	100.00
RdNBR	30.58	69.19	0.13	0.10	100.00
NBR	57.21	41.04	1.49	0.27	100.00
NBRT	64.79	34.53	0.48	0.20	100.00
BAI	59.53	36.71	0.68	3.09	100.00
GISTDA	90.61	9.09	0.21	0.08	100.00

จากตารางที่ 3 พบว่า พื้นที่เผาไหม้ที่วิเคราะห์จาก GISTDA ร้อยละ 90 เป็นพื้นที่ป่าไม้ รองลงมา คือ เกษตรกรรม ร้อยละ 9 และมีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ ถูกเผาไหม้ร้อยละ 0.21 และมีพื้นที่แหล่งน้ำรวมอยู่ในพื้นที่ถูกเผาไหม้น้อยมากหรือเกือบศูนย์เปอร์เซ็นต์ คือ ร้อยละ 0.08 เมื่อพิจารณาพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่ถูกเผาไหม้หรือทับซ้อนกับพื้นที่ถูกเผาไหม้ที่วิเคราะห์จากแต่ละดัชนี พบว่า

- พื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากกว่าร้อยละ 50 ในเกือบทุกดัชนี โดยดัชนี NBRT แสดงพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้เป็นป่าไม้มากที่สุด คือ ร้อยละ 65 ส่วนดัชนี NBR และ BAI แสดงพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 57 และร้อยละ 60 ดัชนี ในขณะที่ดัชนี dNBR มีพื้นที่ป่าไม้ถูกเผาไหม้ร้อยละ 51 และพื้นที่ป่าไม้ถูกเผาไหม้น้อยที่สุดในดัชนี RdNBR คือ ประมาณร้อยละ 31
- พื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ในดัชนี RdNBR มากที่สุด คือ ร้อยละ 69 รองลงมาคือ ดัชนี dNBR และดัชนี NBR ที่มีพื้นที่เกษตรกรรมถูกเผาไหม้ร้อยละ 48 และร้อยละ 41 ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมทับซ้อนกับพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของดัชนี NBRT และ BAI ไม่แตกต่างกันมากนัก คือ ร้อยละ 35 และร้อยละ 37 ซึ่งดัชนี NBRT มีพื้นที่เกษตรกรรมทับซ้อนอยู่ในพื้นที่เผาไหม้น้อยที่สุด
- พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ ถูกวิเคราะห์เป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้น้อยในทุกดัชนี โดยพบว่า พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ ถูกเผาไหม้มากที่สุดในดัชนี NBR หรือมากกว่าดัชนีอื่น คือ ร้อยละ 1.49 และรองลงมา คือ ดัชนี BAI และ

ดัชนี NBRT ที่มีพื้นที่ถูกเผาไหม้เป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ ร้อยละ 0.68 และร้อยละ 0.48 ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่ถูกเผาไหม้ของดัชนี dNBR ทับซ้อนกับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ ร้อยละ 0.26 ซึ่งไม่แตกต่างกันมากกับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ ที่ถูกเผาไหม้จากแหล่งอ้างอิง ส่วนดัชนี RdNBR มีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ ซ้อนทับกับพื้นที่ถูกเผาไหม้น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.13 ซึ่งน้อยกว่าแหล่งอ้างอิงเพียงเล็กน้อย

- พื้นที่แหล่งน้ำถูกวิเคราะห์เป็นพื้นที่ถูกเผาไหม้มากที่สุดในดัชนี BAI เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีอื่น คือ ร้อยละ 3 รองลงมาคือ ดัชนี dNBR ร้อยละ 0.62 และน้อยที่สุดในดัชนี RdNBR คือ ร้อยละ 0.1 ในขณะที่พื้นที่แหล่งน้ำทับซ้อนกับพื้นที่เผาไหม้ของดัชนี NBR และดัชนี NBRT ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 0.27 และร้อยละ 0.20 ตามลำดับ

พื้นที่ถูกเผาไหม้ของบางดัชนีทับซ้อนกับการใช้ประโยชน์ที่ดินสิ่งปกคลุมดินที่ไม่น่าเป็นไปได้ เช่น การเผาไหม้ในพื้นที่แหล่งน้ำพบมากที่สุดในดัชนี BAI ในขณะที่ดัชนี NBR ซ้อนทับกับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ มากที่สุด ซึ่งมีพื้นที่เหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่นอกเขตป่าไม้และเกษตรกรรมที่เป็นแหล่งที่เกิดการเผาไหม้มากที่สุดของจังหวัดแม่ฮ่องสอน และเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินสิ่งปกคลุมดินที่ไม่น่าถูกเผาไหม้ ผลในส่วนนี้จึงแสดงถึงความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้ของแต่ละดัชนี

วิจารณ์ผลการวิจัย

การวิจารณ์ผลการวิจัยสามารถแยกเป็น 3 ส่วน ให้สอดคล้องกับผลการศึกษา ได้แก่

วิจารณ์ผลการวิเคราะห์ศักยภาพด้านความแม่นยำในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้

ดัชนีเผาไหม้ที่ใช้ภาพ 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงก่อนและหลังการเผาไหม้มาวิเคราะห์มาคำนวณดังเช่น ดัชนี dNBR และดัชนี RdNBR ให้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ที่แม่นยำกว่าการใช้ภาพช่วงเวลาเดียวมาคำนวณดังเช่น ดัชนี NBR ดัชนี NBRT และดัชนี BAI อย่างไรก็ตาม หากข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์เป็นช่วงเวลาเดียวกัน (ใช้วิเคราะห์ ด้วยดัชนี dNBR แบบเดียวกัน) กับแหล่งอ้างอิงจะทำให้การเปรียบเทียบพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ น่าเชื่อถือมากขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะดัชนีที่ใช้ภาพช่วงเวลาเดียว พบว่า ดัชนีที่ใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นหรืออินฟราเรดกลางดังเช่น SWIR จะให้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ได้แม่นยำกว่าดัชนีเผาไหม้ที่ไม่ใช่ช่วงคลื่น SWIR ซึ่งดัชนี BAI ใช้เฉพาะช่วงคลื่น RED และ NIR ดังนั้น จึงมีความแม่นยำในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้หรือมีพื้นที่สอดคล้องกับแหล่งอ้างอิงน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปของ Epting *et al.* (2005) Schepers *et al.* (2014) และ Liu *et al.* (2020) ที่ว่า ดัชนีเผาไหม้ที่ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ดียิ่งกว่าดัชนีเผาไหม้ที่ใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ร่วมกับอินฟราเรดกลาง นอกจากนี้ความแม่นยำของการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้จะขึ้นอยู่กับการเลือกดัชนีที่ใช้ช่วงคลื่นสำหรับวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ที่เหมาะสมแล้ว ช่วงเวลาของภาพที่นำมาวิเคราะห์ต้องเหมาะสมอีกด้วย เพราะหากต้องการดูการฟื้นฟูควรมีช่วงห่างระหว่างภาพที่นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันด้วยดัชนี NBR และดัชนี dNBR ควรมีช่วงห่างกันมากกว่า 1 ปี เพราะจะสามารถติดตามการฟื้นฟูก่อนถึงความรุนแรงของการเผาไหม้ซ้ำได้ดี ส่วนดัชนี BAI พบว่า ให้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ได้ดีหากใช้ภาพมากกว่า 1 ช่วงเวลาเปรียบเทียบกันและควรห่างกันน้อยกว่า 1 ปี จะเหมาะกับการศึกษาการเผาไหม้ในพื้นที่เกษตรกรรม เพราะการใช้ภาพที่ห่างกันเกินรอบการเพาะปลูกหรือฤดูกาลที่มีการฟื้นฟูตามธรรมชาติ จะทำให้การหาร่องรอยการถูกเผาไหม้ในพื้นที่



เกษตรกรรมและภูมิประเทศแบบทุ่งหญ้าจะทำได้ยากมากขึ้น ซึ่งมีการสรุปในลักษณะเดียวกันนี้ในงานวิจัยของ Fornacca *et al.* (2018) อีกด้วย

วิจารณ์ผลการวิเคราะห์ศักยภาพในการจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้

ดัชนีที่นำมาวิเคราะห์ในการศึกษานี้ ส่วนใหญ่สามารถจำแนกพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้และไม่ถูกเผาไหม้ออกจากกันได้ แต่มีข้อแตกต่างกันที่การจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ และการจำแนกพื้นที่ Enhanced Regrowth ออกจากพื้นที่ระดับ Unburnt โดยดัชนีเผาไหม้ที่คำนวณหรือวิเคราะห์ด้วยภาพสองช่วงเวลาพบว่า สามารถจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ได้แม่นยำกว่าดัชนีเผาไหม้ที่คำนวณจากภาพเพียงช่วงเวลาเดียว ซึ่งสอดคล้องกับที่ระบุไว้ในงานวิจัยของ Escuin *et al.* (2008) ดังจะเห็นได้จากผลการจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ของดัชนี dNBR ที่สามารถแยกช่วงค่าและระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ได้ทั้ง 5 ระดับอย่างชัดเจนตามสอดคล้องกับข้อสรุปในงานวิจัยของ Tran *et al.* (2018) รองลงมาคือ RdNBR ที่แม้จะสามารถแยกได้เป็น 5 ระดับ แต่ยังพบการปะปนกันระหว่างระดับความรุนแรงที่อยู่ติดกันหรือช่วงค่าไม่สามารถแยกเป็น 5 ระดับได้อย่างเด็ดขาด ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่พบนี้ สามารถปรับปรุงได้ด้วยการศึกษาช่วงค่าเฉพาะหรือปรับปรุงช่วงค่าที่แบ่งระดับให้เหมาะสมกับดัชนี RdNBR สอดคล้องกับที่ระบุในงานวิจัยของ Cardil *et al.* (2019) นอกจากนี้ หากเลือกใช้ภาพที่มีช่วงเวลาห่างกันมากขึ้นหรือใช้ภาพหลังการเผาไหม้ห่างกันมากกว่า 1 เดือน (ช่วงห่างโดยประมาณของภาพที่ใช้ในการศึกษานี้) จะช่วยให้สามารถจำแนกระดับ Enhanced Regrowth ให้แม่นยำมากขึ้นและสามารถแยกออกจากพื้นที่ระดับ Unburnt ได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen *et al.* (2016) ที่ใช้ภาพ 2000 (pre-fire) ภาพ 2001 (post-fire) และภาพในปี 2002 ปี 2003 ปี 2005 และปี 2007 มาวิเคราะห์ค่าดัชนี dNBR หลายช่วงเวลาเพื่อติดตามการฟื้นฟูหรือการเจริญเติบโตของพืช/ต้นไม้หลังการเผาไหม้ ซึ่งจะให้ผลที่น่าเชื่อถือเมื่อใช้ภาพที่ห่างจากช่วงเผาไหม้มากกว่า 1 ปี โดยพื้นที่ที่มีการเผาไหม้ระดับรุนแรงจะมีการฟื้นตัวช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ในระดับรุนแรงน้อยกว่า ซึ่งช่วงห่างระหว่างภาพก่อน (ช่วงเผาไหม้) และหลังจากเผาไหม้มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของการเผาไหม้และการฟื้นฟูหลังจากเผาไหม้ได้ระบุไว้ในงานวิจัยของ Miller and Thode (2007) และ Veraverbeke *et al.* (2010) เช่นกัน

วิจารณ์ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการหาพื้นที่ได้รับผลกระทบ

การวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดิน/การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ซ้อนทับกับพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของแต่ละดัชนีนั้น เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้ทราบถึงความน่าเชื่อถือของดัชนีเผาไหม้ที่นำมาใช้ โดยจะพบว่า ค่าการสะท้อนของพื้นที่เผาไหม้ที่ยังมีเถาถ่านสีดำมักสับสนหรือไม่สามารถแยกออกจากแหล่งน้ำ เพราะมีค่าการสะท้อนต่ำเหมือนกันในช่วงคลื่นต่างๆ ของภาพถ่ายจากดาวเทียม และหลังจากการเผาไหม้จนกระทั่งเถาถ่านในพื้นที่จางหายหรือกลายเป็นพื้นที่โล่งสีสว่าง (อาจมีการปรับพื้นที่เตรียมการเพาะปลูกพืช) ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวจะมีค่าการสะท้อนสูงใกล้เคียงกับสิ่งปลูกสร้างหรือเป็นพื้นที่ไม่มีพืชเช่นเดียวกับพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ จึงจำแนกปะปนกันได้เช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบสิ่งปกคลุมดิน/การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้รับผลกระทบหรือเป็นพื้นที่เผาไหม้ที่วิเคราะห์ จาก 5 ดัชนี ในการศึกษานี้ พบว่า พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและอื่นๆ จะถูกวิเคราะห์เป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้มากที่สุดด้วยดัชนี NBR แหล่งน้ำถูกวิเคราะห์เป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้มากที่สุดในดัชนี BAI ป่าไม้ถูกวิเคราะห์เป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้มากที่สุดในดัชนี NBRT ส่วนพื้นที่เกษตรกรรมถูกวิเคราะห์เป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้มากที่สุดในดัชนี RdNBR ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้และเกษตรกรรมถูกวิเคราะห์เป็นพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ในสัดส่วนใกล้เคียงกันจากภาพของดัชนี dNBR โดยความสับสนของพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้กับ



สิ่งปกคลุมดิน/การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีค่าสะท้อนต่ำหรือไม่มีพืชปกคลุมได้สรุปไว้ในงานวิจัยของ Chuvueco *et al.* (2002) Wang *et al.* (2018) และ Liu *et al.* (2020) ซึ่งการไม่นำเอาพื้นที่น้ำ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง หรือพื้นที่ที่สับสนกับพื้นที่ถูกเผาไหม้มาวิเคราะห์ จะสามารถช่วยให้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ถูกเผาไหม้มีความแม่นยำมากขึ้นได้ สอดคล้องกับวิธีการก่อนวิเคราะห์พื้นที่ถูกเผาไหม้ในงานของ Chen *et al.* (2016) หากต้องการวิเคราะห์ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้ให้แม่นยำขึ้น ควรต้องปรับปรุงหรือพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ และข้อมูลที่น่าสนใจใช้ที่เหมาะสมมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของดัชนี NBR ดัชนี NBRT ดัชนี BAI ดัชนี dNBR และดัชนี RdNBR สามารถสรุปได้ว่า ดัชนี dNBR และดัชนี RdNBR มีความแม่นยำกว่าร้อยละ 60 ในการวิเคราะห์พื้นที่ถูกเผาไหม้เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงจาก GISTDA ส่วนการจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้นั้น ดัชนี dNBR มีศักยภาพโดดเด่นกว่าดัชนีอื่นๆ รองลงมาคือ ดัชนี RdNBR ซึ่งแม้จะมีความคลาดเคลื่อนในการแยกระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับดัชนี NBR แต่มีความสามารถแยกพื้นที่ Enhanced Regrowth ออกจาก Unburnt ได้ดีกว่าดัชนี NBR ในขณะที่ BAI มีข้อจำกัดในการแยกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้และการแยกพื้นที่ Enhanced Regrowth ออกจาก Unburnt ส่วนความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้ของแต่ละดัชนี พบว่า ดัชนี RdNBR มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ซึ่งเมื่อนำมาซ้อนทับกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน ปี 2559 จากกรมพัฒนาที่ดิน จะแสดงการซ้อนทับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและแหล่งน้ำซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่น่าจะถูกเผาไหม้น้อยที่สุด และพื้นที่เกษตรกรรมจะถูกเผาไหม้มากที่สุด ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้จะถูกเผาไหม้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีอื่นๆ แต่มีความสอดคล้องกับกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้ ทำให้ทราบถึงจุดแข็งและข้อจำกัดของแต่ละดัชนี และสามารถเสนอแนะแนวทางในการประยุกต์หรือการพัฒนาปรับปรุงดัชนีเผาไหม้ในการศึกษา/วิจัยในอนาคตได้พอสังเขปดังนี้

- 1) หากไม่มีข้อจำกัดด้านการเข้าถึงพื้นที่ จากการที่เป็นพื้นที่อันตราย การขาดแคลนงบประมาณหรือแรงงานในการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษา การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์พื้นที่ถูกเผาไหม้ และระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ (ที่มีเกณฑ์ที่ชัดเจนว่า เผาไหม้ระดับใดจัดว่า มาก/น้อย) ด้วยข้อมูลที่ได้รับการสำรวจภาคสนาม จะช่วยให้ผลการวิจัยมีคุณภาพและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น
- 2) เลือกใช้ดัชนีเผาไหม้ที่มีช่วงคลื่นอินฟราเรดเป็นองค์ประกอบรวมจะให้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ถูกเผาไหม้ได้แม่นยำกว่าการใช้เพียงภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น และเลือกช่วงเวลาที่จะวิเคราะห์ให้เหมาะสม หากต้องการติดตามการฟื้นฟู การเกิดการเผาไหม้ซ้ำ ต้องใช้ภาพหลายช่วงเวลาจะช่วยทำให้ได้ผลการวิเคราะห์พื้นที่ถูกเผาไหม้และระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ที่น่าเชื่อถือขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ภาพหลายช่วงเวลา มาเปรียบเทียบกันให้ระวังความคลาดเคลื่อนของการปรับแก้เชิงเรขาคณิตที่จะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการซ้อนทับหรือวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพหลายช่วงเวลาได้



- 3) การพัฒนาดัชนีเผาไหม้ให้สามารถวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้และระดับความรุนแรงจากการเผาไหม้ ความเสี่ยงของการเกิดการเผาไหม้หรือการเผาซ้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการประยุกต์ร่วมกับดัชนีอื่นๆ เช่น ดัชนีเกี่ยวกับความชื้น Normalized Difference Water Index (NDWI) ดัชนีที่รวมลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา (ดัชนี Composite Burn Index – CBI และ Geometrically structure CBI) และดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) รวมถึงการเพิ่มเติมรายละเอียดของสิ่งปกคลุมดินหรือองค์ประกอบพืชพรรณในพื้นที่ศึกษา (ข้อมูลจากแปลงทดลอง/พื้นที่ตัวอย่าง) ข้อมูลอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้และระดับความรุนแรงของการเผาไหม้มาใช้ในการวิเคราะห์เพิ่มเติม
- 4) ประยุกต์วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้จำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้ อื่นๆ เพิ่มเติม นอกจากการใช้วิธีการจำแนกแบบ Maximum Likelihood แล้ว อาจลองนำวิธีการอื่น เช่น วิธี Random Forest หรือวิธีการทางแบบจำลองมาสนับสนุนการวิเคราะห์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 5) ประยุกต์การวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ร่วมกับการศึกษาผลกระทบด้านอื่นๆ เพื่อให้เกิดการบูรณาการที่เป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานอื่นๆ ในวงกว้าง เช่น วิเคราะห์ฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ร่วมด้วย ซึ่งนำไปสู่ผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ตามมา จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากการศึกษาไปสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนควบคุม ฟื้นฟู และป้องกันการเผาไหม้ ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมกรรมการเผา รวมถึงการติดตามปัญหาและเสนอแนะแนวทางดูแลสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ที่มีปัญหาได้เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งสนับสนุนข้อมูลในการวิจัยนี้ ได้แก่ หน่วยงาน USGS ที่สนับสนุนข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนดแซท 8 หน่วยงาน GISTDA สนับสนุนข้อมูลพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนของปี 2559 ข้อมูลจุดความร้อนจากหน่วยงาน NASA และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2559 ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนจากกรมพัฒนาที่ดิน

เอกสารอ้างอิง

- Cardil, A. , Mola-Yudego, B. , Blázquez-Casado, A. , & González-Olabarria, J. R. (2019). Fire and burn severity assessment: Calibration of Relative Differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) with field data. *J Environ Manage*, 235, 342-349. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.077>
- Chen, W., Moriya, K., Sakai, T., Koyama, L., & Cao, C.X. (2016). Mapping a burned forest area from Landsat TM data by multiple methods, *Geomat Nat Haz Risk*, 7(1), 384-402, DOI: 10.1080/19475705.2014.925982
- Chuvueco, E., Martin, M.P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red–near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *Int. J. Remote Sens.*, 23 (23) , 5103- 5110. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>



- Collins, L., Griffioen, P., Newell, G., & Mellor, A. (2018). The utility of Random Forests for wildfire severity mapping. *Remote Sens. Environ.*, 216, 374-384. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.005>
- Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, (2020). Fire statistics 2019. Retrieved May 22, 2020, from <http://portal.dnp.go.th/Content/firednp?contentId=15705>
- ENVI. (2019). *Burn Indices Tutorial*. Retrieved Jan 21, 2020, from <http://enviidl.com/help/Subsystems/envi/Content/Tutorials/Tools/BurnIndicesTutorial.htm>
- Epting, J., Verbyla, D., & Sorbel, B. (2005). Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+ . *Remote Sens. Environ.* , 3 (4) , 328- 339. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.002>
- Escuin, S., Navarro, R., & Fernández, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *Int. J. Remote Sens.*, 29(4), 1053-1073. <https://doi.org/10.1080/01431160701281072>
- Fornacca, D., Ren, G., & Xiao, W. (2018). Evaluating the Best Spectral Indices for the Detection of Burn Scars at Several Post-Fire Dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan, China. *Remote Sensing*, 10(8), 1196. DOI: 10.3390/rs10081196
- GISTDA. (2015). *Manual of Using Geoinformatics data for fire and smoke monitoring*. Retrieved September 30, 2019, from https://www.gistda.or.th/main/sites/default/files/e-magazine/fire_manual_final_indd_2-20150210.pdf
- GISTDA. (2016). *Summary of forest fires and haze in 2016 from MODIS satellite systems and area burned from Landsat -8*. Retrieved September 30, 2019, from http://fire.gistda.or.th/fire_report/Fire_2559.pdf
- GISTDA. (2020). *Fire Report 2559 - 63*. Retrieved June 15, 2020, from http://fire.gistda.or.th/fire_report/



- Harris Geospatial Solutions, Inc. (2018). *Burn Indices Tutorial*. Retrieved October 14, 2019, from <http://enviidl.com/help/Subsystems/envi/Content/Tutorials/Tools/BurnIndicesTutorial.htm>
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *Int J Wildland Fire*, 18(1), 116–126. <https://doi.org/10.1071/WF07049>
- Klinger, R. C., McKinley, R., Brooks, M. L. (2019). An evaluation of remotely sensed indices for quantifying burn severity in arid ecoregions. *Int J Wildland Fire*, 28(12), 951-968. <https://doi.org/10.1071/WF19025>
- Maehongson Provincial Office (2018). *Geographic & Climate*. Retrieved June 10, 2018, from <http://www.maehongson.go.th/en/about-us/geographic-climate.html>
- Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sens. Environ.*, 109, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M., & Tong, X. (2020). A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *Eur. J. Remote Sens.*, 53(1), 104-112 <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>
- Rozario, P., Madurapperuma, B., & Wang, Y. (2018). Remote Sensing Approach to Detect Burn Severity Risk Zones in Palo Verde National Park, Costa Rica. *Remote Sensing*, 10(9), 1427. DOI: 10.3390/rs10091427
- Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Vanden Borre, J., & Goossens, R. (2014). Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX). *Remote Sensing*, 6(3), 1803–1826. DOI: 10.3390/rs6031803
- Tran, B., Tanase, M., Bennett, L., & Aponte, C. (2018). Evaluation of Spectral Indices for Assessing Fire Severity in Australian Temperate Forests. *Remote Sensing*, 10(11), 1680. DOI: 10.3390/rs10111680
- USGS. (2019). *Landsat Normalized Burn Ratio*. Retrieved October 14, 2019, from <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-normalized-burn-ratio>



- Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W.W., & Goossens, R. (2010). The temporal dimension of differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) fire/burn severity studies: The case of the large 2007 Peloponnese wildfires in GreeceS. *Remote Sens. Environ.*, 114, 2548–2563. DOI: 10.1016/j.rse.2010.05.029
- Wang, S., Baig, M. H. A., Liu, S., Wan, H., Wu, T., & Yang, Y. (2018). Estimating the area burned by agricultural fires from Landsat 8 Data using the Vegetation Difference Index and Burn Scar Index. *Int J Wildland Fire*, 27(4):217-227. <https://doi.org/10.1071/WF17069>
- Wasser, L., & Cattau, M. (2017). Lesson 4. Work with the Difference Normalized Burn Index - Using Spectral Remote Sensing to Understand the Impacts of Fire on the Landscape. In Earth Analytics Course: Learn Data Science. Retrieved August 24, 2019, from <https://www.earthdatascience.org/courses/earth-analytics/multispectral-remote-sensing-modis/normalized-burn-index-dNBR/>