



Research Article

Influence of ENSO on Hotspot Density in Forest Area during Wet and Dry Seasons in the Upper Northern Region of Thailand

อิทธิพลของเอนโซที่มีผลต่อความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง
บริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Prin Lorpittayakorn^{1*}, Chutpong Pachanaparn² and Rangsan Ketord³

ปริณ หล่อพิทยากร^{1*} ชัชพงศ์ ภาชนะพรรณ² และรังสรรค์ เกตุอื้อ³

¹สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี 20131

¹Department of Geoinformatics, Faculty of Humanities and Social Sciences, Burapha University, Chonburi 20131

²สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา 56000

²Division of Geographic Information Science, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao 56000

³สาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก 65000

³Division of Geography, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000

*Corresponding author: prinl.1459@gmail.com

Abstract

The aim of this research is to study the influence of ENSO on hotspot density in forest area during wet and dry seasons in the upper Northern region of Thailand. This study uses image from Terra satellite in MODIS (Moderate Resolution Image Spectroradiometer) systems for study hotspot density in ENSO event during year 2004 to 2020. This study will be considered hotspot density from Terra satellite in MODIS systems in during El Nino, Moderate and La Nina period by divided wet season and dry season. After that, finding hotspot data by Kernel density process and Raster calculator process by using ArcGIS software in version 10.0 and clip boundary of upper Northern of Thailand all 9 provinces for calculate hotspot density maximum per 1 km² in each province. The last process, compared hotspot density in each province by compared between hotspot density in El Nino – Moderate, La Nina – Moderate and El Nino – La Nina period by uses statistics paired sample t-test method at 95% confidence. The results showed that in wet season, hotspot density in forest area in the upper Northern of Thailand in El Nino period maximum is 65 spot per 1 km², minimum is 0 spot per 1 km², in Moderate period maximum is 57 spot per 1 km², minimum is 0 spot per 1 km² and La Nina period maximum is 5 spot per 1 km², minimum is 0 spot per 1 km². The hotspot density in El Nino period is not difference hotspot density in Moderate period at 0.05 significant level, hotspot density in La Nina period less than hotspot density in Moderate period and hotspot density in El Nino period greater than hotspot density in La Nina period at 0.05 significant level. In dry season, hotspot density in El Nino period maximum is 3,068 spot per 1 km², minimum is 0 spot per 1 km², in Moderate period maximum is 1,619 spot per 1 km², minimum is 0 spot per 1 km² and La Nina period maximum is 1,494 spot per 1 km², minimum is 0 spot per 1 km². The hotspot density in El Nino period greater than hotspot density in Moderate and La Nina period and

hotspot density in La Nina period less than hotspot density in Moderate period at 0.05 significant level. Thus, during El Nino period, the risk of wildfires in the upper Northern of Thailand is higher than in Moderate and La Nina period.

Keywords: hotspot density, ENSO, upper Northern region of Thailand, wet and dry seasons

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของเอลนีโญที่มีผลต่อความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งบริเวณภาคเหนือตอนบน โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมเทอร์ราเรบโมดิส เพื่อหาความหนาแน่นของจุดความร้อนในแต่ละปีภาวะเอลนีโญ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2563 การศึกษาในครั้งนี้เป็นการพิจารณาจุดความร้อนที่ได้จากดาวเทียม ในช่วงปีที่เกิดภาวะเอลนีโญ ภาวะปกติและภาวะลานีญา ตามฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง ต่อจากนั้น ดำเนินการหาผลลัพธ์ข้อมูลจุดความร้อนตามกระบวนการความหนาแน่นเคอร์เนล (Kernel Density) และการคำนวณแบบ (Raster Calculator) ด้วยโปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 10.0 และทำการตัดขอบเขตจังหวัดภาคเหนือตอนบนทั้ง 9 จังหวัด เพื่อทำการหาค่าสูงสุดของความหนาแน่นต่อ 1 ตารางกิโลเมตรในแต่ละจังหวัด และทำการทดสอบทางสถิติแบบรายคู่ (Pair Sample t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเปรียบเทียบความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายคู่ของแต่ละคู่จังหวัด ระหว่างสภาวะเอลนีโญ-ปกติ, ลานีญา-ปกติ และเอลนีโญ-ลานีญา ผลการศึกษาปรากฏว่า ในช่วงฤดูฝนค่าความหนาแน่นจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญสูงสุด 65 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ในปีภาวะปกติ สูงสุด 57 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ในปีภาวะลานีญาสูงสุด 5 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ความแตกต่างของความหนาแน่นจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณภาคเหนือตอนบนในปีภาวะเอลนีโญไม่มีความแตกต่างกับความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาน้อยกว่าค่าความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะปกติ และค่าความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในช่วงฤดูแล้งค่าความหนาแน่นจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญสูงสุด 3,068 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ในปีภาวะปกติ สูงสุด 1,610 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ในปีภาวะลานีญาสูงสุด 1,494 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ความแตกต่างของความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้ในบริเวณภาคเหนือตอนบน พบว่า ในปีภาวะเอลนีโญ ค่าความหนาแน่นของจุดความร้อนมีปริมาณมากกว่าความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะปกติและในปีภาวะลานีญา และค่าความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาน้อยกว่าค่าความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้น ในปีภาวะเอลนีโญจะเป็นปีภาวะที่มีโอกาสเกิดไฟป่าบริเวณภาคเหนือตอนบนสูงกว่าในปีภาวะปกติและปีภาวะลานีญา

คำสำคัญ: ความหนาแน่นจุดความร้อน, เอลนีโญ, ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย, ฤดูฝนและฤดูแล้ง

บทนำ

ภาคเหนือตอนบนเป็นภูมิภาคที่อยู่ด้านบนสุดของประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อน มีพื้นที่ป่าไม้จำนวนมาก ซึ่งพื้นที่ป่าไม้บริเวณภาคเหนือตอนบนเป็นพื้นที่ป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีระบบนิเวศที่สำคัญของพื้นที่โดยเฉพาะการมีความหลากหลายทางชีวภาพ ซึ่งการมีป่าไม้ที่อุดมสมบูรณ์นั้นก็ต้องมีแนวทางการบำรุงรักษาให้มีความสมบูรณ์อย่างยั่งยืนในขณะเดียวกันเราก็ต้องมีการตั้งรับกับภัยธรรมชาติที่จะมีผลต่อการทำลายป่าไม้ด้วยเช่นกันโดยเฉพาะภาวะภัยแล้งที่จะส่งผลต่อการเกิดความแห้งแล้งในบริเวณพื้นที่ป่าไม้โดยเฉพาะอย่างยิ่งภัยจากปรากฏการณ์เอลนีโญที่มีผลต่อความแห้งแล้งทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งที่ส่งผลต่อการเกิดไฟป่าได้ง่าย (Reid et al., 2012; Gaveau et al., 2014; Touma et al., 2021) เนื่องจากภาวะเอลนีโญเป็นภาวะที่มีผลต่อปริมาณฝนที่น้อยกว่าปกติซึ่งมีผลต่อเกษตรกรรม (Reda et al., 2015) และมีผลต่อปริมาณฝนในบริเวณพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยน้อยกว่าค่าปกติ (ปริญา และคณะ., 2568) ซึ่งภาวะเอลนีโญที่มีความแห้งแล้งปริมาณฝนน้อยกว่าปกตินั้นจะส่งผลต่อการเกิดไฟป่าได้ง่ายกว่าในช่วงปีภาวะลานีญาที่มีความชุ่มชื้นมาก (Hamada et al., 2002) ซึ่งจะได้เห็นได้ชัดเจนอย่างมากในช่วงปีภาวะเอลนีโญที่รุนแรงในปี พ.ศ.2541 และ 2542 นั้นในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เกิดภาวะไฟป่าที่รุนแรงเป็นอย่างมาก (Glover, 2001; Liew et al., 2001) จากการที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญที่มีผลต่อการเกิดไฟป่าและการบริหารจัดการด้านไฟป่าก็เป็นสิ่งที่จะต้องเป็นแผนในการรักษาพื้นที่ป่าไม้และระบบนิเวศสิ่งแวดล้อม (Griscom et al., 2020) และจากสถิติในการเกิดไฟป่าพบว่าบริเวณพื้นที่ที่เกิดไฟป่าที่มีจำนวนความหนาแน่นจุดความร้อนที่หนาแน่นที่สุดโดยจัด 5 อันดับแรก คือ จังหวัด ตาก ลำปาง แม่ฮ่องสอน น่าน และเชียงใหม่ โดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่เป็นพื้นที่ป่าไม้ได้รับความเสียหายจากการเกิดไฟป่าสูงสุดและที่สำคัญพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่เป็นพื้นที่สำคัญทางเศรษฐกิจของทางภาคเหนือโดยเฉพาะด้านการท่องเที่ยวซึ่งเมื่อเกิดไฟป่าก็จะส่งผลกระทบต่อเรื่องมลพิษทางอากาศค่อนข้างมากและจะส่งผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมในระดับชาติต่อไปด้วย (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, องค์การมหาชน, 2568) และ (สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดเชียงใหม่, 2568) ดังนั้น การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของเอลนีโญที่มีผลต่อการเกิดไฟป่าในบริเวณภาคเหนือตอนบน ประกอบด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง แพร่ อุตรดิตถ์ พะเยาและน่าน ดังแสดงใน Figure 1 พื้นที่ดังกล่าวนี้เป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้งโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของปีภาวะเอลนีโญ (ปริญา และคณะ., 2568) และเมื่อเกิดภัยแล้งที่มีปริมาณฝนน้อยกว่าปกติก็จะส่งผลทำให้เกิดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ที่มีปริมาณสูงกว่าปกติโดยเฉพาะในฤดูแล้งของช่วงปีภาวะเอลนีโญ (ปริญา และคณะ., 2566) จากที่กล่าวมาข้างต้น ถ้าเราทราบบริเวณที่มีความหนาแน่นของจุดความร้อนของพื้นที่ดังกล่าวทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งทั้งในปีภาวะเอลนีโญ ปีภาวะปกติและปีภาวะลานีญา ก็จะสามารถนำมาวิเคราะห์ถึงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในปีภาวะเอลนีโญโดยเฉพาะในช่วงปีภาวะเอลนีโญ เพื่อจะได้นำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการรับมือกับการเกิดภัยแล้งจากปรากฏการณ์เอลนีโญโดยเฉพาะเอลนีโญที่มีผลต่อการเกิดไฟป่า ซึ่งเป็นวาระแห่งชาติในปัจจุบันที่ทางรัฐบาลและหลายหน่วยงานให้ความสำคัญในด้านนี้เป็นอย่างมาก เนื่องจากการเกิดไฟป่าจะส่งผลกระทบต่อเกิดมลพิษสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อทรัพยากรป่าไม้เป็นอย่างมาก ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงพื้นที่ที่มีปริมาณความหนาแน่นจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญ เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการรับมือเกี่ยวกับภัยแล้งและการเกิดไฟป่ารวมถึงการกำหนดแนวทางการป้องกันและการบริหารจัดการไฟป่าในเขตของพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในอนาคตได้



Figure 1 Area boundary upper Northern of Thailand region

Source: (Shapefile) Area boundary upper Northern of Thailand region from Arc GIS 10.0

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ศึกษาปรากฏการณ์เอนโซ ในช่วงปี พ.ศ.2547 - พ.ศ.2563 (ค.ศ.2004 - ค.ศ.2020) โดยการจำแนกตามตารางค่าดัชนีอุณหภูมิน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก (Oceanic Nino Index : ONI) ทั้ง 3 ภาวะ ได้แก่ ภาวะเอลนีโญ ภาวะปกติ และภาวะลานีญา Table 1 ค่า ONI เป็นค่าดัชนีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ผิดปกติ ที่เกิดจากการเฉลี่ยราย 3 เดือน ในบริเวณกลางมหาสมุทรแปซิฟิกศูนย์สูตร (ตำแหน่ง NINO3.4) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เสมือนเป็นค่าที่ตรวจวัดทั้งทางฝั่งแปซิฟิกศูนย์สูตรฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออกทำให้เป็นค่าดัชนีที่มีความนิยมนำมาใช้เป็นค่าดัชนีที่บ่งชี้สภาวะเอนโซได้ดี โดยที่งานวิจัยนี้จะนำค่า ONI มาประกอบเป็นค่าบ่งชี้ช่วงเวลาของภาวะเอลนีโญ ปกติและลานีญา โดยพิจารณาค่าตรงกลางของเดือนทั้ง 3 เดือนมาใช้เป็นตัวแทนของดัชนีในเดือนนั้น ๆ เพื่อพิจารณาร่วมกับค่าความหนาแน่นจุดความร้อนรายเดือน เช่น DJF คือค่าดัชนี ONI ที่เกิดจากการเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ผิดปกติในเดือนธันวาคม มกราคมและ กุมภาพันธ์ ก็จะพิจารณาว่าดัชนีของชุดนี้คือของเดือนมกราคม และค่าดัชนี JFM ก็จะพิจารณาเป็นค่า ONI ของเดือนกุมภาพันธ์ เป็นต้น

2. ศึกษาความหนาแน่นของการเกิดไฟป่าในบริเวณภาคเหนือตอนบนในช่วงปีภาวะเอลนีโญ ปีภาวะปกติและปีภาวะลานีญา โดยศึกษาจากภาพถ่ายดาวเทียม Terra ระบบ Modis (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) เพื่อดูความหนาแน่นของจุดความร้อนในแต่ละปีภาวะเอนโซ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2563 การศึกษาจุดความร้อน (Hotspot) จากดาวเทียม Terra ระบบ Modis ช่วงปีที่เกิดภาวะเอลนีโญ ภาวะปกติและภาวะลานีญา ในรายเดือนทั้ง 3 ภาวะจะได้ 36 ภาพ รายปีภาวะ 3 ภาพ รวมทั้งฤดูกาลได้แก่ฤดูฝนและฤดูแล้ง จะได้ 6 ภาพใน 3 ภาวะ รวมทั้งหมด 45 ภาพ เพื่อดูความแตกต่างของความหนาแน่นจุดความร้อน (Hotspot) ที่เกิดในบริเวณภาคเหนือตอนบน ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.0

Table 1. ONI Oceanic Nino Index in 2004 - 2020

year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2

Remarks: El Nino state is bold letter, Moderate state is normal letter, La Nina state is italic letter and El Nino state must have more than or equal 0.5 and La Nina state must have less than or equal -0.5

Source: National Weather Service Climate Prediction Center, 2021

3. การวิเคราะห์ข้อมูลความหนาแน่นของการเกิดไฟฟ้า บริเวณภาคเหนือตอนบนในช่วงปีภาวะเอลนีโญ ปีภาวะปกติ และปีภาวะลานีญาสามารถทำได้ ดังนี้

3.1 นำข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเข้าสู่โปรแกรม ArcGIS โดยจำแนกข้อมูลเป็น 12 เดือนตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคม ในทุกเดือนจะมีข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2547 – 2563 เดือนละเท่า ๆ กัน

3.2 ทำการจำแนกข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ทั้ง 12 เดือนโดยอ้างอิงตามค่าดัชนี ONI โดยจำแนกออกมาเป็น 3 ภาวะได้แก่ ภาวะเอลนีโญ ภาวะปกติและภาวะลานีญา ภาวะละ 12 เดือนตั้งแต่ปีพ.ศ. 2547 – 2563

3.3 เมื่อทำการจำแนกข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) โดยอ้างอิงตามค่าดัชนี ONI เรียบร้อยแล้วนำข้อมูลมาทำการรวม (merge) ปีภาวะของแต่ละเดือนให้เป็นตัวแทน 1 เดือนจะได้ทั้งหมด 12 เดือน เดือนละ 1 Shapefile

3.4 นำข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ที่ทำการรวม (Merge) แล้วมาทำการตัด (Clip) กับข้อมูลขอบเขตพื้นที่บริเวณภาคเหนือตอนบน (Shapefile)

3.5 นำข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ที่ตัดกับขอบเขตภาคเหนือตอนบนเรียบร้อยแล้วมาทำการตัด (Clip) กับข้อมูลพื้นที่อุทยานแห่งชาติและป่าไม้ (Shapefile) พื้นที่บริเวณภาคเหนือตอนบนทั้ง 12 เดือน

3.6 นำข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ที่ทำการตัด (Clip) กับข้อมูลพื้นที่อุทยานแห่งชาติและป่าไม้ (Shapefile) ทั้ง 12 เดือนเรียบร้อยแล้วมาทำการจำแนกออกเป็น 2 ฤดูกาลได้แก่ ฤดูแล้งในเดือน พฤษภาคม ธันวาคม มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคมและเมษายน ฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายนและตุลาคม เพื่อดูความหนาแน่นของการเกิดไฟป่าในทั้ง 3 ภาวะตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2563

3.7 นำข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) มาเข้ากระบวนการ Kernel Density เพื่อดูกลุ่มความหนาแน่นของจุดความร้อน (Hotspot) โดยตั้งค่าให้เป็นต่อตารางกิโลเมตร (ผลที่ออกมาจะเป็น Raster)

3.8 เมื่อผ่านกระบวนการ Kernel Density ข้อมูลจะอยู่ในรูปของช่วงชั้นและเป็นเลขทศนิยม ให้ทำการ Raster Calculator โดยใช้ชั้นข้อมูล Kernel Density ทหารด้วย 1,000 (ข้อมูลที่ออกมาจะเป็น Raster)

3.9 เมื่อผ่านกระบวนการ Raster Calculator ครั้งที่ 1 เรียบร้อยแล้ว ข้อมูลที่ได้ออกมาจะมีเลขทศนิยม ให้ทำการ Raster Calculator เป็นครั้งที่ 2 เพื่อตัดเลขทศนิยมให้เป็นจำนวนเต็มโดยใช้ Int (ข้อมูลที่มีค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม) ตามด้วยข้อมูลที่ Raster Calculator ครั้งที่ 1 จะได้ค่าข้อมูลเป็นจำนวนเต็ม ผลที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปแบบค่าสูงสุดของความหนาแน่นต่อ 1 ตารางกิโลเมตร

3.10 หาผลลัพธ์ข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ตามกระบวนการ Kernel Density และ Raster Calculator รอบที่ 1 และ 2 จนครบทั้ง 2 ฤดูกาลทั้ง 3 ภาวะคือภาวะเอลนีโญ ภาวะปกติและลานีญา

3.11 เมื่อข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ผ่านกระบวนการ Kernel Density และ Raster Calculator รอบที่ 1 และ 2 แล้วให้นำจุดความร้อน (Hotspot) มาทำการตัด (Clip) กับขอบเขตจังหวัดภาคเหนือตอนบนทั้ง 9 จังหวัดได้แก่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง แพร่ อุตรดิตถ์ พะเยาและน่าน เพื่อทำการหาค่าสูงสุดของความหนาแน่นต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ในแต่ละจังหวัด

3.12 เมื่อได้ค่าสูงสุดของความหนาแน่นต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ในแต่ละจังหวัดแล้วให้นำค่าข้อมูลนั้นลงในโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS version 23.0) เพื่อทำการทดสอบทางสถิติแบบรายคู่ (Pair Sample t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ดังสมการที่ 1) โดยเปรียบเทียบความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายคู่ของแต่ละคู่จังหวัด ระหว่างสภาวะเอลนีโญ-ปกติ, ลานีญา-ปกติ และเอลนีโญ-ลานีญา

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s_{\bar{d}}} , df = n - 1 \dots\dots\dots (1)$$

$$s_{\bar{d}} = \frac{s_d}{\sqrt{n}} , \bar{d} = \frac{\sum d}{n}$$

μ_d คือ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่สำหรับกลุ่มประชากร

s_d คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างรายคู่ของกลุ่มตัวอย่าง

n คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

d คือ จำนวนคู่ของกลุ่มตัวอย่าง

$\bar{d}$ คือ ค่าเฉลี่ยความแตกต่างรายคู่ของกลุ่มตัวอย่าง

$s_{\bar{d}}$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $\bar{d}$

df คือ ค่าองศาอิสระ

t คือ ค่าทดสอบทางสถิติ t สำหรับ $\bar{d}$

ค่าความเชื่อมั่นสำหรับ $\mu_d = \bar{d} \pm ts_{\bar{d}}$

$(1 - \alpha)100\%$ ในที่นี้ใช้ $\alpha = 0.05$ หรือ ความเชื่อมั่น 95%
(Prem S. Mann, 2004).

สมมติฐานสำหรับการวิจัย

ภาวะเอลนีโญเปรียบเทียบกับภาวะปกติ

H_0 : ภาวะเอลนีโญ $\leq$ ภาวะปกติ

H_1 : ภาวะเอลนีโญ $>$ ภาวะปกติ

ภาวะลานีญาเปรียบเทียบกับภาวะปกติ

H_0 : ภาวะลานีญา $\geq$ ภาวะปกติ

H_1 : ภาวะลานีญา $<$ ภาวะปกติ

ภาวะเอลนีโญเปรียบเทียบกับภาวะลานีญา

H_0 : ภาวะเอลนีโญ $\leq$ ภาวะลานีญา

H_1 : ภาวะเอลนีโญ $>$ ภาวะลานีญา

ผลการศึกษาและวิจารณ์

อิทธิพลของของเอนโซที่มีผลต่อความหนาแน่นจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณภาคเหนือตอนบนในช่วงเดือนพฤษภาคม – เดือนตุลาคม (ช่วงฤดูฝน)

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นจุดความร้อนในช่วงฤดูฝนในปีภาวะเอลนีโญสูงสุด 65 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ในปีภาวะปกติ สูงสุด 57 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ในปีภาวะลานีญาสูงสุด 5 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ความหนาแน่นของจุดความร้อนที่ในบริเวณป่าไม้ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในปีภาวะเอลนีโญเปรียบเทียบกับปีภาวะปกติในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมจนถึงตุลาคม) กล่าวคือ ในปีภาวะเอลนีโญจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ และแพร่ โดยความหนาแน่นสูงสุดในทั้งภาคอยู่ที่จังหวัดเชียงราย ในปีภาวะปกติจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดเชียงราย แพร่ ลำปาง อุตรดิตถ์และน่าน ดังแสดงใน Figure 2(a) และ 2(b) ตามลำดับ

จากผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า ความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าในปีภาวะปกติแบบไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน Table 2 เนื่องจากปรากฏการณ์เอลนีโญเป็นปรากฏการณ์ที่มวลน้ำในมหาสมุทรแปซิฟิกศูนย์สูตรอุ่นขึ้นกว่าปกติและการเคลื่อนตัวของมวลน้ำไปทางแปซิฟิกศูนย์สูตรฝั่งตะวันออกมากขึ้น ส่งผลให้บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมถึงประเทศไทยในช่วงฤดูฝนมีปริมาณฝนที่ต่ำกว่าปกติจะส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น การแพร่กระจายความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนต่ำ (มณฑนา, 2531) จากปรากฏการณ์เอลนีโญนี้จะส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น การแพร่กระจายความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนต่ำ ส่งผลให้ความหนาแน่นของจุดความร้อนมากกว่าในปีภาวะปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของชนิษฐาและณัฐพศุทธิ์ (2563) เรื่องการเกิดภัยแล้งในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO) สถิติการเกิดภัยแล้งในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยจะเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมและอาจส่งสัญญาณต่อเนื่องมาจนถึงเดือนกรกฎาคม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Touma et al. (2021) ที่ได้รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทำให้เกิดความแห้งแล้งนั้นส่งผลทำให้เกิดไฟป่ามากกว่าปกติและจากการรายงานของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2564) ประเทศไทยประสบภัยแล้งรุนแรงจากปรากฏการณ์เอลนีโญทำให้มีฝนตกน้อยกว่าปกติและมีภาวะฝนทิ้งช่วงยาวนานในช่วงฤดูฝนทำให้มีการขาดแคลนน้ำช่วงปลายปี (ศูนย์ภูมิอากาศ, 2563) ส่งผลต่อความแห้งแล้งซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดไฟป่ามากกว่าปกติ

จากการศึกษาความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในปีภาวะลานีญาเปรียบเทียบกับปีภาวะปกติ ในช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงตุลาคม พบว่า ความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาน้อยกว่าปีภาวะปกติ โดยปีภาวะลานีญาจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดเชียงราย พะเยาและน่าน ความหนาแน่นสูงสุดของทั้งภาคจะอยู่ที่จังหวัดน่าน ส่วนในปีภาวะปกติจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดเชียงราย แพร่ ลำปาง อุตรดิตถ์และน่าน ดังแสดงใน Figure 2(b) และ 2(c) ตามลำดับ ความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาจะมีน้อยกว่าภาวะปกติเนื่องจากมีปัจจัยของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนมาประกอบ จากผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า ความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาน้อยกว่าปีภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน Table 2 เนื่องจากในปีภาวะลานีญานั้นลมค้าตะวันออกมีกำลังแรงขึ้นทำให้มวลน้ำทะเลจากทางฝั่งแปซิฟิกศูนย์สูตรทางฝั่งตะวันออกเคลื่อนตัวมาทางแปซิฟิกศูนย์สูตรฝั่งตะวันตกทำให้เกิด Walker Circulation มาทางแปซิฟิกศูนย์สูตรฝั่งตะวันตกมากขึ้นทำให้ปริมาณฝนบริเวณแปซิฟิกศูนย์สูตรฝั่งตะวันตกรวมถึงแถบอินโดนีเซียและประเทศไทยส่วนใหญ่มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะฤดูฝนจะมีปริมาณฝนที่สูงกว่าปกติ (มันทนาและสุตาพร, 2542) สอดคล้องกับงานวิจัยของไกรรพ (2564) การคาดการณ์ว่าจะมีปรากฏการณ์ลานีญาเกิดขึ้นและมีโอกาสเกิด 60% ในช่วงเดือนกันยายน – พฤศจิกายน ที่จะส่งผลให้มีพายุมากขึ้นด้วยเช่นกัน จากปรากฏการณ์ลานีญานี้ คาดว่าจะกระทบต่อสภาพอากาศของประเทศไทยในปี 2564 แบบที่เรียกว่า “น้ำท่วมกระจุกแห่งแล้งกระจาย” โดยปรากฏการณ์ลานีญาทำให้ฝนจะมาเร็วและอาจเกิดพายุฤดูร้อนได้บ่อยครั้งในเดือนเมษายน เนื่องจากอิทธิพลพายุฤดูร้อน สอดคล้องกับการรายงานของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2564) ที่ได้รายงานไว้ในช่วงปีภาวะลานีญาเป็นภาวะที่มีฝนตกหนักทั่วภูมิภาคของประเทศไทยโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน (ศูนย์ภูมิอากาศ, 2566) การที่มีปริมาณฝนมากทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์มากส่งผลให้ความหนาแน่นจุดความร้อนและการเกิดไฟป่ามีน้อยกว่าในปีภาวะปกติ

จากการศึกษาความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในปีภาวะเอลนีโญเปรียบเทียบกับปีภาวะลานีญา ในช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงตุลาคม ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า ความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญสูงกว่าปีภาวะลานีญา กล่าวคือ ในปีภาวะเอลนีโญจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่และแพร่ โดยความหนาแน่นสูงสุดในทั้งภาคจะอยู่ที่จังหวัดเชียงราย ดังแสดงใน Figure 2(a) ปรากฏการณ์เอลนีโญจะส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น การแพร่กระจายความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนต่ำส่งผลให้เกิดไฟป่าได้ง่าย ปีภาวะลานีญาจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดเชียงราย พะเยาและน่าน ความหนาแน่นสูงสุดของทั้งภาคจะอยู่ที่จังหวัดน่าน ดังแสดงใน Figure 2(c) ความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาจะมีน้อยกว่าภาวะปกติเนื่องจากมีปัจจัยของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนมาประกอบ ทั้งสองภาวะนั้นจึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญจะมีมากกว่าภาวะลานีญา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2564) ที่ได้รายงานไว้ในช่วงปีภาวะเอลนีโญของฤดูฝนจะเกิดภาวะฝนทิ้งช่วงซึ่งส่งผลทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในทางตรงกันข้ามปีภาวะลานีญาเป็นปีภาวะที่มีฝนตกชุกทั่วประเทศส่งผลให้มีความชื้นสูง จากเหตุการณ์นี้ทำให้ในปีภาวะเอลนีโญของช่วงฤดูฝนนั้น เกิดความหนาแน่นของจุดความร้อนในบริเวณพื้นที่ป่าในเขตภาคเหนือตอนบนมากกว่าในช่วงปีภาวะลานีญา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lewis et al. (2011) ที่ได้รายงานไว้ในปีภาวะเอลนีโญปานกลางทำให้ปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าปีภาวะลานีญา ส่วนอุณหภูมิอากาศสูงกว่าในปีภาวะลานีญา ซึ่งภาวะแห้งแล้งในช่วงฤดูฝนจะส่งผลต่อการเกิดความหนาแน่นของจุดความร้อนสูงกว่าในปีภาวะลานีญา สอดคล้องกับงานวิจัยของปริญ และคณะ (2568) ที่ได้รายงานไว้ในช่วงฤดูฝนในปีภาวะเอลนีโญปริมาณฝนบริเวณภาคเหนือตอนบนมีปริมาณที่ต่ำกว่าปริมาณฝนในปีภาวะลานีญาและปีภาวะปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่งผลทำให้บริเวณภาคเหนือตอนบนมีภาวะเสี่ยงที่จะเกิดภัยแล้งได้มากกว่าในปีภาวะลานีญา เมื่อเกิดภาวะเสี่ยงที่จะเกิด

ภัยแล้งได้มากกว่าในปีภาวะลานีญานั้นจะส่งผลสืบเนื่องที่จะเกิดไฟป่าในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าในปีภาวะลานีญา และเมื่อนำมาประกอบกับงานวิจัยของปริญ และคณะ (2566) ที่ได้รายงานว่าในช่วงฤดูฝนที่เป็นปีภาวะเอลนีโญนั้น ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) จะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าในช่วงปีภาวะลานีญาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณความหนาแน่นของจุดความร้อนต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ของฤดูแล้ง ในช่วงปีภาวะเอลนีโญจะสูงกว่าในปีภาวะปกติและปีภาวะลานีญาจึงทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กมีปริมาณสูงมากในช่วงปีภาวะเอลนีโญ แม้ว่าในช่วงฤดูฝนแต่ในปีภาวะเอลนีโญจะเกิดภาวะฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานานทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำกว่าปกติ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าปกติก็จะบ่งชี้ถึงการเกิดความแห้งแล้งเกิดขึ้น ความแห้งแล้งนี้จะมีผลต่อการเกิดไฟป่าได้ง่ายกว่าในปีภาวะลานีญา เป็นปีภาวะที่มีปริมาณฝนที่มากกว่าปกติโดยเฉพาะช่วงฤดูฝนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนจะมีปริมาณฝนที่สูงกว่าปีภาวะปกติส่งผลให้ค่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กมีปริมาณที่ต่ำกว่าในปีภาวะเอลนีโญ ค่าความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ต่ำกว่าในปีภาวะเอลนีโญนั้นเป็นตัวชี้วัดได้ระดับหนึ่งของปริมาณความหนาแน่นของจุดความร้อนในช่วงฤดูฝนของปีภาวะเอลนีโญจะสูงกว่าในช่วงปีภาวะปกติและปีภาวะลานีญาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

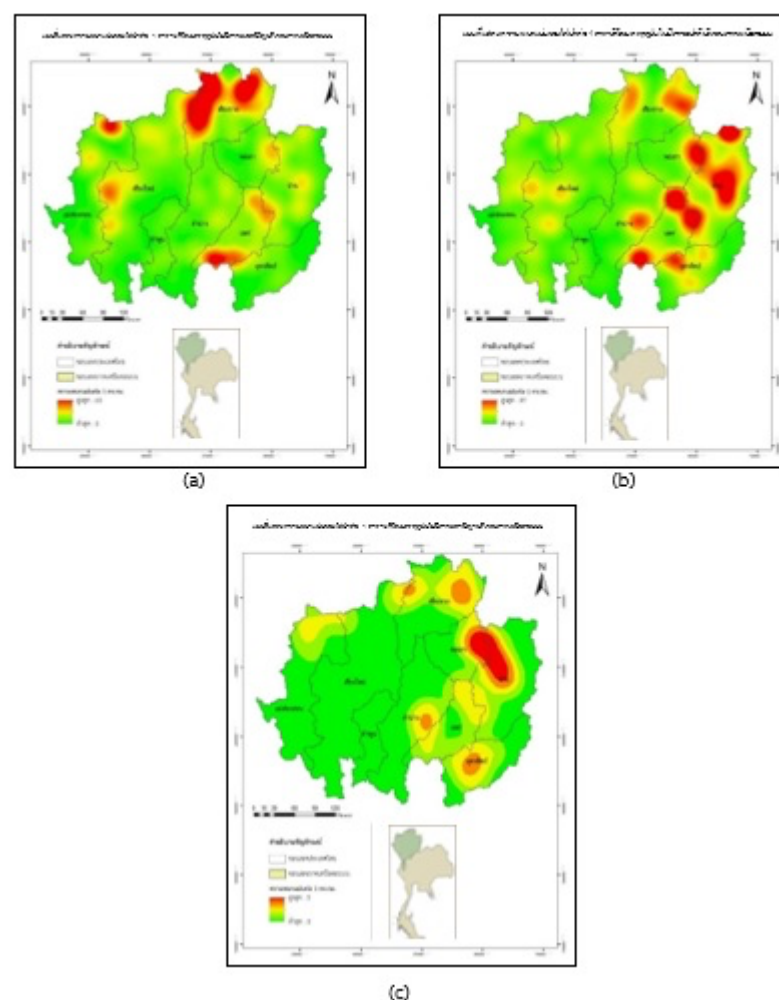


Figure 2. Hotspot density in forest area during wet season in the upper Northern of Thailand region (per 1 km²) (a) El Nino state (b) Moderate state and (c) La Nina state.

Table 2. Statistics test (paired sample t-test) between El Nino - Moderate, La Nina - Moderate and El Nino - La Nina for study hotspot density difference in forest area during wet season in upper Northern of Thailand region

ENSO state	t-value	degree of freedom	Sig. (1-tailed)
El Nino - moderate	0.332	8	0.374
La Nina - moderate	-6.736	8	0.000
El Nino - La Nina	5.037	8	0.001

อิทธิพลของของเอลนีโญที่มีผลต่อความหนาแน่นจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณภาคเหนือตอนบน ในช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม และเดือนมกราคม - เมษายน (ช่วงฤดูแล้ง)

จากการศึกษาความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในฤดูแล้งค่าความหนาแน่นจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญสูงสุด 3,068 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ในปีภาวะปกติ สูงสุด 1,610 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ในปีภาวะลานีญาสูงสุด 1,494 จุดต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ต่ำสุด 0 จุดต่อตารางกิโลเมตร ความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญเปรียบเทียบกับภาวะปกติในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน - ธันวาคม, มกราคม - เมษายน) พบว่า ในปีภาวะเอลนีโญจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ เชียงราย น่านและลำปาง โดยความหนาแน่นสูงสุดในทั้งภาคอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงรายและน่าน ส่วนในปีภาวะปกติจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงรายและน่าน ดังแสดงใน Figure 3(a) และ 3(b) ตามลำดับ จากผลการทดสอบทางสถิติเพื่อศึกษาความแตกต่างของความหนาแน่นปริมาณจุดความร้อน พบว่า ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าในปีภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน Table 3 เนื่องจากปรากฏการณ์เอลนีโญเป็นปรากฏการณ์ที่มลน้ำในมหาสมุทรแปซิฟิกศูนย์กลางร้อนขึ้นกว่าปกติและการเคลื่อนตัวของมลน้ำไปทางแปซิฟิกศูนย์กลางฝั่งตะวันออกมากขึ้นส่งผลให้บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมถึงประเทศไทยมีปริมาณฝนที่ต่ำกว่าปกติโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่มีอุณหภูมิอากาศที่สูงกว่าปกติ จะส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น การแพร่กระจายความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนต่ำ (มณฑล, 2531) ปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้นจะส่งผลต่อการเกิดความหนาแน่นของจุดความร้อนที่สูงกว่าปกติซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดไฟป่าได้ง่าย สอดคล้องกับงานวิจัยของชนิษฐาและณัฐพศุทธิ์ (2563) เรื่องการเกิดภัยแล้งในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปรากฏการณ์เอลนีโญ (ENSO) สถิติการเกิดภัยแล้งในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมและอาจส่งสัญญาณต่อเนื่องมาจนถึงเดือนกรกฎาคม สอดคล้องกับการรายงานของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2564) ที่ได้รายงานไว้ว่าในช่วงปีภาวะเอลนีโญเกิดภาวะฝนทิ้งช่วงส่งผลให้น้ำต้นทุนสะสมมีน้อยทำให้ปลายปีเกิดภาวะแห้งแล้งมากกว่าปกติจากภาวะฝนทิ้งช่วงในช่วงฤดูฝนและส่งผลมาถึงช่วงฤดูแล้งนั้นมีความหนาแน่นของจุดความร้อนบริเวณพื้นที่ป่าในแถบภาคเหนือตอนบนสูงซึ่งมีโอกาสเกิดไฟป่าสูงกว่าปกติ สอดคล้องกับการรายงานของ Intamat (2021) ได้รายงานว่าไฟป่าที่เกิดขึ้นบริเวณภาคเหนือจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม - เมษายน ตรงกับฤดูแล้งของประเทศไทย ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดไฟป่าส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก อาทิ การเผาวัสดุทางการเกษตร การเผาไร่ในที่โล่งทั้งในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่า การกำจัดวัชพืช การเก็บของป่า การล่าสัตว์และการแกล้งจุดด้วยความศึคะนองรวมถึงความประมาท เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้มาประกอบกับในช่วงฤดูแล้งของปีภาวะเอลนีโญก็จะส่งผลทำให้เกิดไฟป่ารุนแรงมาก

ขึ้นกว่าปีภาวะปกติ สอดคล้องกับการรายงานของ Chaparro et al. (2015) บ่งชี้ทางด้านอากาศเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและส่งผลให้พฤติกรรมไฟป่ามีการผันแปรตามไปด้วย กล่าวคือ อุณหภูมิที่สูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำโอกาสการติดไฟจะสูงขึ้น ดังนั้น ในปีภาวะเอลนีโญก็จะทำให้โอกาสการเกิดไฟป่าหรือการเกิดความหนาแน่นจุดความร้อนจะสูงกว่าปกติ

จากการศึกษาความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในปีภาวะลานีญาเปรียบเทียบกับปีภาวะปกติ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคมและเดือนมกราคม – เมษายน พบว่า ในปีภาวะลานีญาจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงรายและน่าน ความหนาแน่นสูงสุดของทั้งภาคจะอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาจะมีน้อยกว่าปีภาวะปกติเนื่องจากมีปัจจัยของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนที่มากกว่าปกติ และในปีภาวะปกติจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงรายและน่าน ดังแสดงใน Figure 3(b) และ 3(c) ตามลำดับ จากผลการทดสอบทางสถิติเพื่อศึกษาความแตกต่างของความหนาแน่นปริมาณจุดความร้อน พบว่า ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาน้อยกว่าในปีภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน Table 3 เนื่องจากในปีภาวะลานีญานั้นลมค้าตะวันออกเฉียงใต้กำลังแรงขึ้นทำให้มวลน้ำทะเลจากทางฝั่งแปซิฟิกศูนย์สูตรทางฝั่งตะวันออกเคลื่อนตัวมาทางแปซิฟิกศูนย์สูตรฝั่งตะวันตกทำให้เกิด Walker Circulation มาทางแปซิฟิกศูนย์สูตรฝั่งตะวันตกมากขึ้นทำให้ปริมาณฝนบริเวณแปซิฟิกศูนย์สูตรฝั่งตะวันตกรวมถึงแถบอินโดนีเซียและประเทศไทย ส่วนใหญ่มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้น (มณฑลและสุดาพร, 2542) สอดคล้องกับงานวิจัยของไกรพร (2564) ได้กล่าวว่า การคาดการณ์ว่าจะมีปรากฏการณ์ลานีญาเกิดขึ้นและมีโอกาสเกิด 60% ในช่วงเดือนกันยายน – พฤศจิกายน ที่จะส่งผลให้มีพายุมากขึ้นด้วยเช่นกัน จากปรากฏการณ์ลานีญานี้คาดว่าจะกระทบต่อสภาพอากาศของประเทศไทยในปี 2564 แบบที่เรียกว่า “น้ำท่วมกระจุกแห่งแล้งกระจาย” โดยปรากฏการณ์ลานีญาทำให้ฝนจะมาเร็วและอาจเกิดพายุฤดูร้อนได้บ่อยครั้งในเดือนเมษายน ทำให้การเกิดไฟป่าน้อยกว่าในปีภาวะปกติ จากการรายงานของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2564) ที่ได้รายงานว่าในปีภาวะลานีญาจะมีปริมาณฝนมากกว่าปกติและฝนตกชุกทั่วประเทศในช่วงฤดูฝนซึ่งการที่ฝนตกชุกในช่วงฤดูฝนทำให้ปลายปีนั้นยังมีความชื้นที่มากกว่าปกติลักษณะเช่นนี้ส่งผลให้การเกิดความหนาแน่นของจุดความร้อนต่ำกว่าปกติ และสอดคล้องกับการรายงานของ Chaparro et al. (2015) บ่งชี้ทางด้านอากาศเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและส่งผลให้พฤติกรรมไฟป่ามีการผันแปรตามไปด้วย กล่าวคือ อุณหภูมิที่ต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูงโอกาสการติดไฟจะต่ำ ดังนั้น ในปีภาวะลานีญาจะทำให้โอกาสการเกิดไฟป่าหรือการเกิดความหนาแน่นจุดความร้อนจะต่ำกว่าปีภาวะปกติ

จากการศึกษาความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในปีภาวะเอลนีโญเปรียบเทียบกับปีภาวะลานีญา ในช่วงเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคม และเดือนมกราคม – เมษายน พบว่า ในปีภาวะเอลนีโญจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ เชียงราย น่านและลำปาง โดยความหนาแน่นสูงสุดในทั้งภาคอยู่ที่จังหวัดเชียงรายและน่าน ปรากฏการณ์เอลนีโญจะส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น การแพร่กระจายความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนต่ำ ในปีภาวะลานีญาจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงรายและน่าน โดยรวมแล้วความหนาแน่นของจุดความร้อนของปีภาวะเอลนีโญจะมีมากกว่าปีภาวะลานีญา ดังแสดงใน Figure 3(a) และ 3(c) ตามลำดับ เนื่องจากมีปัจจัยของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนที่เป็นตัวขับเคลื่อนต่อการเกิดไฟป่าแบบธรรมชาติ กล่าวคือ ถ้ามีความแห้งแล้งมาก ความชื้นในอากาศน้อยก็จะเป็นตัวเร่งการเกิดไฟป่าได้ง่าย (Fasullo et al., 2018) เหตุการณ์แบบนี้ส่งผลให้มีความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญสูงกว่าปีภาวะลานีญาและจากการทดสอบทางสถิติเพื่อศึกษาความแตกต่างของความหนาแน่นปริมาณจุดความร้อน

พบว่า ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าในปีภาวะลานีญาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน Table 3 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Reid et al. (201) Gaveau et al. (2014) และ Touma et al. (2021) ที่ได้รายงานว่าการวิจัยความแห้งแล้งจะส่งผลต่อการเกิดไฟป่าได้ง่ายโดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ภาคเหนือที่จะมีอุณหภูมิอากาศที่ค่อนข้างสูงในช่วงฤดูแล้งโดยเฉพาะในภาวะเอลนีโญที่จะมีอุณหภูมิอากาศที่สูงกว่าในปีภาวะลานีญา และสอดคล้องกับการรายงานของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2564) ที่ได้รายงานไว้ว่า ในปีภาวะเอลนีโญปริมาณน้ำต้นทุนในช่วงฤดูฝนจะต่ำกว่าในปีภาวะลานีญาทำให้ปลายปีมีการขาดแคลนน้ำและเกิดภัยแล้งได้มากกว่าในปีภาวะลานีญา การเกิดภัยแล้งจะส่งผลต่อการเกิดจุดความร้อนที่สูงกว่าปกติทำให้ในปีภาวะเอลนีโญโดยเฉพาะช่วงฤดูแล้งจะมีอัตราการเกิดไฟป่าได้สูงกว่าปีภาวะลานีญา (Touma et al., 2021) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ปริญ และคณะ, 2568) ที่ได้รายงานไว้ว่าในช่วงฤดูแล้งในปีภาวะเอลนีโญปริมาณฝนบริเวณภาคเหนือตอนบนจะมีปริมาณที่ต่ำกว่าปริมาณฝนในปีภาวะลานีญาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งส่งผลทำให้บริเวณภาคเหนือตอนบนมีภาวะเสี่ยงที่จะเกิดภัยแล้งได้มากกว่าในปีภาวะลานีญา เมื่อเกิดภาวะเสี่ยงที่จะเกิดภัยแล้งได้มากกว่าในปีภาวะลานีญานั้นจะส่งผลสืบเนื่องที่จะเกิดไฟป่าในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าในปีภาวะลานีญา และสอดคล้องกับการรายงานของ (Chaparro et al., 2015) บ่งชี้ทางด้านอากาศเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและส่งผลให้พฤติกรรมไฟป่ามีการผันแปรตามไปด้วย กล่าวคือ อุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ยิ่งต่ำโอกาสการติดไฟจะสูงขึ้น ดังนั้นในปีภาวะเอลนีโญก็จะทำให้โอกาสการเกิดไฟป่าหรือการเกิดจุดความร้อนจะสูงกว่าปีภาวะลานีญา สอดคล้องและมีความสัมพันธ์กับงานวิจัยของ (ปริญ และคณะ, 2566) ที่ได้รายงานไว้ว่าในช่วงฤดูแล้งที่เป็นปีภาวะเอลนีโยนั้นปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก จะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าในช่วงปีภาวะลานีญาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณความหนาแน่นของจุดความร้อนต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ของฤดูแล้งในช่วงปีภาวะเอลนีโยจะสูงกว่าในปีภาวะปกติ และปีภาวะลานีญาจึงทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กมีปริมาณสูงมากในช่วงปีภาวะเอลนีโย

Table 3. Statistics test (paired sample t-test) between El Nino - Moderate, La Nina – Moderate and El Nino – La Nina for study hotspot density difference in forest area during dry season in upper Northern of Thailand region

ENSO state	t-value	degree of freedom	Sig. (1-tailed)
El Nino - moderate	3.116	8	0.007
La Nina - moderate	-3.179	8	0.006
El Nino – La Nina	2.287	8	0.025

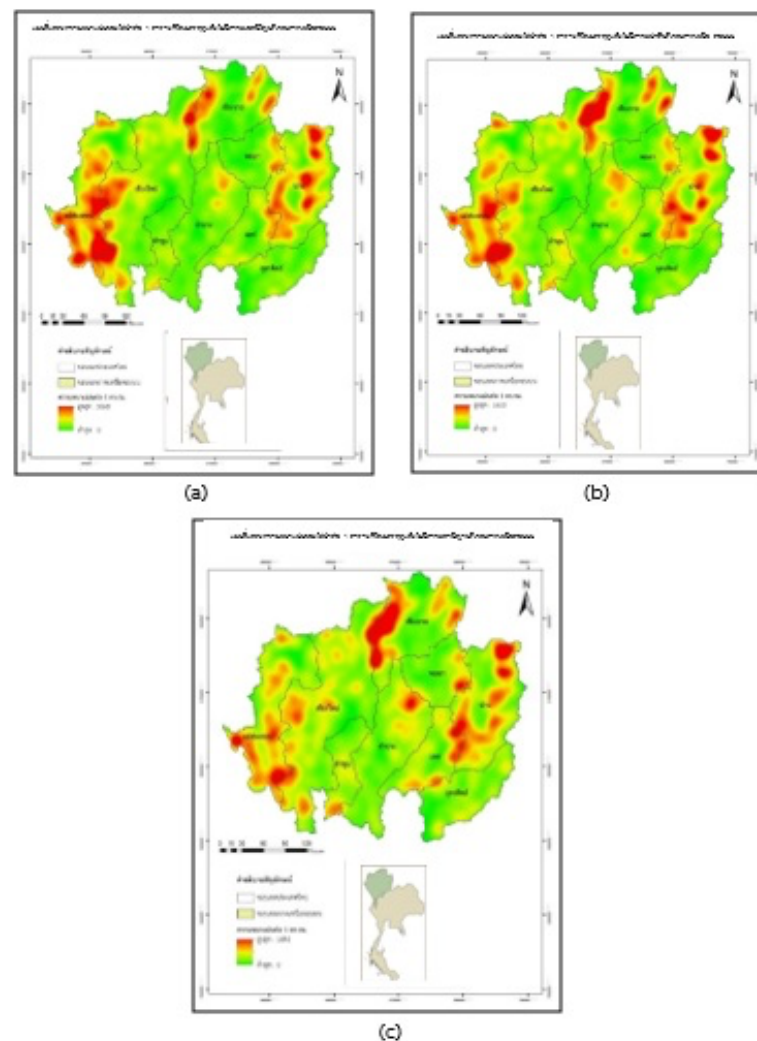


Figure 3. Hotspot density in forest area during dry season in the upper Northern of Thailand region (per 1 km²) (a) El Nino state (b) Moderate state and (c) La Nina state

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาดังอิทธิพลของเอนโซที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของจุดความร้อนบริเวณพื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยทำการศึกษาในช่วงปี พ.ศ.2547 – 2563 โดยทำการจำแนกเป็นช่วงปีภาวะเอลนีโญ ปีภาวะปกติและปีภาวะลานีญา โดยพิจารณาจากค่าดัชนีค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (ONI) และทำการจำแนกภาวะเอนโซตามค่าดัชนี กล่าวคือ ค่าดัชนีอยู่ในช่วงตั้งแต่ -0.5 ถึง +0.5 เป็นปีภาวะปกติ ค่ามากกว่า 0.5 เป็นปีภาวะเอลนีโญ และค่าต่ำกว่า -0.5 เป็นปีภาวะลานีญา และนำค่าปริมาณความหนาแน่นของจุดความร้อนที่จำแนกตามสภาวะเอนโซ มาหาผลลัพธ์ข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ตามกระบวนการ Kernel Density และ Raster Calculator โดยโปรแกรม ArcGIS 10.0 ในรอบที่ 1 และ 2 จนครบทั้ง 2 ฤดูกาลทั้ง 3 ภาวะ คือ ภาวะเอลนีโญ ภาวะปกติและลานีญา เมื่อข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ผ่านกระบวนการ Kernel Density และ Raster Calculator รอบที่ 1 และ 2 แล้วให้นำจุดความร้อน (Hotspot) มาทำการตัด (Clip) กับขอบเขตจังหวัดภาคเหนือ

ตอนบนทั้ง 9 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง แพร่ อุดรดิตถ์ พะเยาและน่าน จะได้ความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่แต่ละจังหวัดแต่ละสภาวะเอนโซ จากนั้น ทำการหาค่าสูงสุดของความหนาแน่นต่อ 1 ตารางกิโลเมตรในแต่ละจังหวัด เมื่อได้ค่าสูงสุดของความหนาแน่นต่อ 1 ตารางกิโลเมตรในแต่ละจังหวัดแล้ว ให้นำค่าข้อมูลนั้นลงในโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS version 23.0) เพื่อทำการทดสอบทางสถิติแบบรายคู่ (Pair Sample t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อศึกษาความแตกต่างของความหนาแน่นของจุดความร้อนในแต่ละรายคู่จังหวัดของแต่ละสภาวะเอนโซ

ผลการศึกษา พบว่า ในช่วงฤดูฝนปีภาวะเอลนีโญจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่และแพร่ โดยความหนาแน่นสูงสุดในทั้งภาคอยู่ที่จังหวัดเชียงราย ในปีภาวะปกติจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดเชียงราย พะเยาและน่าน ความหนาแน่นสูงสุดของทั้งภาคจะอยู่ที่จังหวัดน่าน เมื่อศึกษาความแตกต่างของความหนาแน่นของจุดความร้อน พบว่า ในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าในปีภาวะปกติแบบไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาน้อยกว่าปีภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความหนาแน่นของจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญจะมีมากกว่าปีภาวะลานีญาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สำหรับในช่วงฤดูแล้งในปีภาวะเอลนีโญจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ เชียงราย น่านและลำปาง โดยความหนาแน่นสูงสุดในทั้งภาคอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงรายและน่าน ส่วนในปีภาวะปกติจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงรายและน่าน และในปีภาวะลานีญาจะมีความหนาแน่นของจุดความร้อนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงรายและน่าน ความหนาแน่นสูงสุดของทั้งภาคจะอยู่ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เมื่อศึกษาความแตกต่างของความหนาแน่นของจุดความร้อน พบว่า ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าในปีภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนในปีภาวะลานีญาน้อยกว่าในปีภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความหนาแน่นของปริมาณจุดความร้อนในปีภาวะเอลนีโญมากกว่าในปีภาวะลานีญาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการใช้ข้อมูลความหนาแน่นจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้บริเวณภาคเหนือตอนบนในช่วงเวลา 16 ปี ในช่วงปีพ.ศ. 2547 – 2563 เป็นการครอบรอบของวัฏจักรเอนโซ กล่าวคือ ทั้งสภาวะเอลนีโญ ปกติและลานีญา ถ้างานวิจัยในอนาคตมีการใช้ข้อมูลที่ยาวนานขึ้น เช่น 30 ปี มาทำการศึกษาถึงความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ป่าไม้ทั่วประเทศและทำการศึกษาควกับระดับความรุนแรงของเอนโซโดยการแบ่งระดับความรุนแรงของเอนโซให้ละเอียดขึ้น เช่น รุนแรงมาก รุนแรง ปานกลาง อ่อนและอ่อนมาก รวมถึงศึกษากับปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศ อาจจะทำให้ผลงานวิจัยนั้นเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของจุดความร้อนในแต่ละจังหวัดชัดเจนยิ่งขึ้นกว่านี้รวมถึงจะได้ข้อมูลสนับสนุนถึงปัจจัยที่ส่งผลทำให้แต่ละจังหวัดเกิดความหนาแน่นของจุดความร้อนที่แตกต่างกันได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

การมีส่วนร่วมในบทความ

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: ปริณ ห่อพิทยากร. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: ปริณ ห่อพิทยากร และรังสรรค์ เกตุอ้อต. การจัดเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ปริณ ห่อพิทยากร, ชัชพงศ์ ภาชนะพรรณ และรังสรรค์ เกตุอ้อต. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุป: ปริณ ห่อพิทยากร, ชัชพงศ์ ภาชนะพรรณ และรังสรรค์ เกตุอ้อต. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ปริณ ห่อพิทยากร และรังสรรค์ เกตุอ้อต. การให้การสนับสนุนเครื่องมือห้องปฏิบัติการ และ ทรัพยากร: ปริณ ห่อพิทยากร.

เอกสารอ้างอิง

- ไกรรพ พงศ์พิบูลเกียรติ. (2564). เอลนีโญ ลานีญา ปรากฏการณ์ที่มีอิทธิพลต่อสภาพภูมิอากาศของโลก. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). <https://www.gistda.or.th>
- ชนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ และณัฐพศุทธิ์ ภัทธีราสินสิริม. (2563). การเกิดภัยแล้งในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO). *วารสารสมาคมนักวิจัย (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)*, 25(1), 26-35.
- ปริณ ห่อพิทยากร, ณัฐฐันรี พุกถึก, ณัฐพล ประสิทธิ์, ศิริลักษณ์ สาลี, สุจิตรา บ้านเนิน, รุ่งโรจน์ อินกานา, อารียา โฉมงาม, ดาวุฒิ กาลาเอส, ปัทมา พอดี, ภูริต มีพร้อม และรังสรรค์ เกตุอ้อต. (2566). อิทธิพลของเอนโซที่มีผลต่อปริมาณฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย. *วารสารเกษตรนเรศวร*, 20(2), 1-24.
- ปริณ ห่อพิทยากร, ณัฐฐันรี พุกถึก, ณัฐพล ประสิทธิ์, ศิริลักษณ์ สาลี, สุจิตรา บ้านเนิน, รุ่งโรจน์ อินกานา, อารียา โฉมงาม, และรังสรรค์ เกตุอ้อต. (2568). อิทธิพลของเอนโซที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้งบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย. *วารสารเกษตรนเรศวร*, 22(1): 1-22.
- มณฑนา พฤกษ์วัน และสุตาพร นิ้มมา. (2542). ผลกระทบลานีญาที่มีต่อฝนและอุณหภูมิของประเทศไทย. ฝ่ายวิชาการ ภูมิอากาศ กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา.
- มณฑนา พฤกษ์วัน. (2531). การหาผลกระทบของเอลนีโญที่มีต่อฝนในประเทศไทย. ฝ่ายวิชาการ ภูมิอากาศ กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ศูนย์ภูมิอากาศ. (2563). ความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในปี 2562. กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ศูนย์ภูมิอากาศ. (2566). ความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในปี 2565. กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา.
- สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดเชียงใหม่. (2568). สรุปผลการดำเนินงานการแก้ไขปัญหาไฟป่า หมอกควันและฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 จังหวัดเชียงใหม่ ประจำปี 2568. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. https://backofficeminisite.disaster.go.th/apiv1/apps/minisite_DPMRC10/202/content/29278/download?filename=4c4d7d721cf9a48f1edb88443bd1e863.pdf
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2564). รายงานสรุปสถานการณ์ไฟป่าและหมอกควันปี 2564 โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2568). ไฟป่าภาคเหนือยังวิกฤต จุดความร้อนพุ่ง - ค่าฝุ่นเกินมาตรฐาน.
- Chaparro, D., Vall-Llossera, M., Piles, M., Camps, A., & Rudiger, C. (2015). Low soil moisture and high temperatures as indicators for forest fire occurrence and extent across the Iberian Peninsula. In 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (pp. 3325-3328). IEEE.

- Environmental Systems Research Institute. (2014). ArcGIS (Version 10.0) [Computer software].
- Fasullo, J. T., Otto-Bliesner, B. L., & Stevenson, S. (2018). ENSO's changing influence on temperature, precipitation, and wildfire in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 45(17), 9216-9225.
- Gaveau, D. L. A., Salim, M. A., Hergoualc'h, K., Locatelli, B., Sloan, S., Wooster, M., Marlier, M. E., Molidena, E., Yaen, H., DeFries, R., Verchot, L., Murdiyarso, D., Nasi, R., Holmgren, P., & Sheil, D. (2014). Major atmospheric emission from peat fires in south-east Asia during non-drought years: Evidence from 2013 Sumatran fires. *Scientific Reports*, 4, 1-7.
- Glover, D. (2001). The Indonesian fires and haze of 1997: The economic toll. In P. Eaton & M. Radojevic (Eds.), *Forest fires and regional haze in Southeast Asia* (pp. 227-236). Nova Science Publishers.
- Griscom, B. W., Busch, J., Cook-Patton, S. C., Ellis, P. W., Funk, J., Leavitt, S. M., Lomax, G., Turner, W. R., Chapman, M., Engelmann, J., Gurwick, N. P., Landis, E., Lawrence, D., Malhi, Y., Schindler Murray, L., Navarete, D., Roe, S., Scull, S., Smith, P., . . . Worthington, T. (2020). National mitigation potential from natural climate solutions in the tropics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0126>
- Hamada, J., Yamanaka, M. D., Matsumoto, J., Fukao, S., Winarso, P. A., & Sribimawati, T. (2002). Spatial and temporal variations of the rainy season over Indonesia and their link to ENSO. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80(2), 285-310.
- IBM Singapore Pte. (2016). *IBM SPSS Statistics* (Version 23.0) [Computer software].
- Intamat, P. (2021). *People's participation and knowledge in forest fire control at Pang Tong Royal Project 3 (Mok Cham Pae - Mae Sa Nga), Mok Cham Pae sub-district, Mae Hong Son province* [In Thai] [Master's thesis, Maejo University].
- Lewis, S. L., Brando, P. M., Phillips, O. L., van der Heijden, G. M. F., & Rodriguez, D. A. (2011). The 2010 Amazon drought. *Science*, 331(6017), 554. <https://doi.org/10.1126/science.1200807>
- Liew, S. C., Kwok, L. K., Lim, O. K., & Lim, H. (2001). Remote sensing of fire and haze. In P. Eaton & M. Radojevic (Eds.), *Forest fires and regional haze in Southeast Asia* (pp. 67-89). Nova Science Publishers.
- Mann, P. S. (2004). *Introductory statistics* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- National Weather Service Climate Prediction Center. (2021). *Cold & warm episodes by season*. National Oceanic and Atmospheric Administration. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.phpPrem S.
- Reda, A. G., Tripathi, N. K., Soni, P., & Tipdecho, T. (2015). Rainfed rice agriculture under climate variability in Southeast Asia: The case of Thailand. *Journal of Earth Science and Climatic Change*, 6(8), 1000297. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000297>
- Reid, J. S., Xian, P., Hyer, E. J., Flatau, M. K., Ramirez, E. M., Turk, F. J., Samson, C. R., Zhang, C., Fukuda, E. M., & Maloney, E. D. (2012). Multi-scale meteorological conceptual analysis of observed active fire hotspot activity and smoke optical depth in the Maritime Continent. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 2117-2147. <https://doi.org/10.5194/acp-12-2117-2012>
- Touma, D., Stevenson, S., Lehner, F., & Coats, S. (2021). Human-driven greenhouse gas and aerosol emissions cause distinct regional impacts on extreme fire weather. *Nature Communications*, 12(1), 212. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20570-w>