

การประเมินเชิงพื้นที่ของความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม

Spatial Risk Assessment of Dengue Hemorrhagic Fever Occurrence in Maha Sarakham Municipality

เมรินทร์ วรณพงษ์,¹ อุทัยวรรณ สีงาม,¹ จิระเดช มาจันแดง^{2*}

Merin Wanapong,¹ Uthaiwan Seengam,¹ Jiradech Majandang^{2*}

Received: 28 September 2016 ; Accepted: 3 February 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม แบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ 1) ประเมินระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชนจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 6 ปัจจัยประกอบด้วย ดัชนีลูกน้ำยุงลาย ระยะห่างจากแหล่งน้ำ การเกิดโรคซ้ำซาก จำนวนหลังคาเรือน จำนวนประชากร และจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยง 2) ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด จากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัยประกอบด้วย ความหนาแน่นของประชากร ความหนาแน่นของประชากรกลุ่มเสี่ยง และระยะห่างจากแหล่งน้ำ พบว่ามี 3 ชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด คือ ชุมชนธัญญา 1 ชุมชนโพธิ์ศรี 1 และชุมชนโพธิ์ศรี 2 พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงมากและมากที่สุดภายในทั้ง 3 ชุมชน ส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่ประชากรกลุ่มเสี่ยงอาศัยอยู่หนาแน่น ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจทางระบาดวิทยา ในกระบวนการงานเฝ้าระวังและป้องกันการเกิดโรคไข้เลือดออกทั้งเชิงรุกและเชิงรับต่อไป

คำสำคัญ: โรคไข้เลือดออก ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เทศบาลเมืองมหาสารคาม

Abstract

The geographic information system model and the analytical hierarchical process were applied in this study, in order to assess the areas which were at risk of dengue hemorrhagic fever occurrence in Maha Sarakham municipality. The assessment was divided into two main categories which were: 1) to assess the risk of dengue hemorrhagic fever occurrence among the communities by using six significant factors including house index of mosquito (HI), distance from water bodies, endemic areas, number of households, number of population and number of population at risk; and 2) to assess the risks of dengue hemorrhagic fever occurrence in the communities that are the most highly at risk by using 3 significant factors including population density, density of population at risk, and distance from water bodies. The results of this study revealed three of the most highly at risk communities which were Thanya community 1, Pohsri community 1 and Pohsri community 2. In addition, the high and very high risk areas of those three communities were mostly in the areas that had high density of population at risk. Thus, these results can be used to determine the epidemiology of dengue hemorrhagic fever in the proactive and reactive surveillance program.

Keywords: Dengue hemorrhagic fever, Geographic information system, Maha Sarakham municipality

¹ นิสิตปริญญาตรี, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

¹ Bachelor degree student, ² Assist. Prof., Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand. * Corresponding author; Jiradech Majandang, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand. Jiradech_m@hotmail.com

บทนำ

โรคไข้เลือดออกเป็นโรคติดต่อที่มีอยู่หลายบ้านเป็นพาหะนำโรค¹ พบได้ตลอดทั้งปีแต่จะพบมากในฤดูฝน ทั้งในเขตเมืองและชนบท² พบในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กอายุระหว่าง 5-9 ปี³ เกิดจากการติดเชื้อไวรัสเด็งกี (dengue virus) 4 ชนิด คือ DEN-1, DEN-2, DEN-3 และ DEN-4⁴ ผู้ป่วยที่อยู่ในระยะไข้สูงจะเป็นระยะที่มีเชื้อไวรัสอยู่ในกระแสเลือด เมื่อถูกยุงตัวเมียกัดและดูดเลือดเชื้อไวรัสในเลือดจะเข้าสู่กระเพาะยุง และเข้าไปอยู่ในเซลล์ที่ผนังกระเพาะมากขึ้น จากนั้นจะเดินทางเข้าสู่ต่อมน้ำลายพร้อมเข้าสู่คนที่ถูกกัดในครั้งต่อไป ทำให้เกิดการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว⁵ เมื่อเชื้อไวรัสเด็งกีเข้าสู่กระแสเลือดของคนที่ถูกกัดใหม่ จะมีระยะฟักตัวของโรคประมาณ 5-8 วัน ก่อนที่จะแสดงอาการของโรคไข้เลือดออก โดยมีอาการที่สำคัญ คือ ไข้สูงเฉียบพลัน มีเลือดออก ตับโต และเกิดภาวะช็อก⁶ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีรายงานการระบาดครั้งแรกในปี พ.ศ. 2497 ที่ประเทศฟิลิปปินส์ ส่วนในประเทศไทยเริ่มมีการระบาดครั้งแรกในปี พ.ศ. 2501 ที่กรุงเทพมหานคร มีรายงานจำนวนผู้ป่วย 2,706 ราย เสียชีวิต 296 ราย อัตราการป่วยเท่ากับ 10.6 ต่อประชากรแสนคน อัตราการเสียชีวิตเท่ากับ 10.9 ต่อประชากรแสนคน และมีการระบาดไปตามจังหวัดต่าง ๆ ที่มีประชากรหนาแน่นอย่างรวดเร็วจนพบว่ามี การระบาดในทุกจังหวัดของประเทศไทย ภายในระยะเวลา 5 ปีหลังจากการระบาดครั้งแรก⁷

สำหรับในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น (พื้นที่รับผิดชอบจังหวัดอุดรธานี หนองบัวลำภู หนองคาย เลย ขอนแก่น มหาสารคาม และร้อยเอ็ด) ในรอบ 10 ปี (พ.ศ. 2545-2554) พบว่าในช่วง 5 ปีแรก (พ.ศ. 2545-2549) ทุกจังหวัดมีแนวโน้มของอัตราป่วยที่สูงขึ้นจนถึงปี พ.ศ. 2549 โดยในปีนี้จังหวัดร้อยเอ็ดมีอัตราป่วยสูงสุด มีอัตราป่วยเท่ากับ 95.01 ต่อประชากรแสนคน รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่น เลย และกาฬสินธุ์ โดยมีอัตราป่วยเท่ากับ 83.25, 60.96 และ 59.37 ต่อประชากรแสนคนตามลำดับ ส่วนในช่วง 5 ปีหลัง (พ.ศ. 2550-2554) มีการระบาดของโรคสูงสุดในปี พ.ศ. 2550 โดยร้อยเอ็ดยังคงเป็นจังหวัดที่มีอัตราป่วยสูงสุด มีอัตราป่วยเท่ากับ 316.25 ต่อประชากรแสนคน รองลงมาคือจังหวัดกาฬสินธุ์ มหาสารคาม และขอนแก่น มีอัตราป่วยเท่ากับ 292.87, 157.90 และ 105.35 ต่อประชากรแสนคนตามลำดับ⁸

สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกของจังหวัดมหาสารคามในปี พ.ศ. 2556 (1 มกราคม ถึง 19 ตุลาคม พ.ศ. 2556) มีการรายงานอัตราการป่วยเท่ากับ

263.40 ต่อประชากรแสนคน ในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม พบการระบาดมากที่สุดในพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย รองลงมาคืออำเภอเมืองมหาสารคาม⁹ ในพื้นที่อำเภอเมืองมหาสารคาม พบว่ามี การระบาดมากที่สุดในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม จากรายงานสถิติผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2556 พบว่ามี การระบาดในลักษณะหนึ่งปีเว้นสองปี ในปี พ.ศ. 2550 มีอัตราการป่วยเท่ากับ 114 ราย ถัดมาคือปี พ.ศ. 2553 มีอัตราการป่วยเท่ากับ 125 ราย เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2550 11 ราย แต่ในปี พ.ศ. 2556 มีอัตราการป่วยทั้งสิ้น 283 ราย ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีที่มีการระบาดสูงสุดก่อนหน้าถึง 158 ราย¹⁰

จากสถิติดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปัญหาโรคไข้เลือดออกยังเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่สำคัญ และการดำเนินการควบคุมโรคยังทำได้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากต้องรอให้เกิดโรคก่อนจึงจะดำเนินการ ดังนั้นเพื่อให้การวางแผนดำเนินการป้องกัน และควบคุมโรคไข้เลือดออกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออก เพื่อกำหนดเป็นพื้นที่เร่งด่วนในการดำเนินการป้องกัน และควบคุมโรค ปัจจุบันได้มีการประยุกต์นาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การกระจายตัวและกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกเพิ่มมากขึ้น^{11,12,13,14,15} เนื่องจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญในการรวบรวม จัดเก็บ ปรับปรุง วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านระบาดวิทยา จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อระบุพื้นที่การเกิดโรค การกระจายตัวในเชิงเวลา สถานที่ และกลุ่มประชากรได้ ทำให้การวางแผนป้องกันและควบคุมโรคติดต่อมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น¹⁶ รวมถึงการนำมาใช้วิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออก ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการประเมินระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชน และส่วนที่สองเป็นการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสนับสนุนการบริหารจัดการในการควบคุม ป้องกัน และเฝ้าระวังโรคไข้เลือดออกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาและการเตรียมข้อมูลปัจจัย

1. การประเมินระดับความเสี่ยงการเกิดโรคไข้เลือด

ออกของชุมชน

ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย 6 ปัจจัย คือ ดัชนีลูกน้ำยุงลาย ระยะห่างจากแหล่งน้ำ การเกิดโรค ซ้ำซาก จำนวนหลังคาเรือน จำนวนประชากร และจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยง

- ดัชนีลูกน้ำยุงลาย ได้จากกลุ่มงานเวชกรรมสังคม โรงพยาบาลมหาสารคาม ศูนย์แพทย์ชุมชนอุทัยทิศ ศูนย์แพทย์ชุมชนบูรพา ศูนย์แพทย์ชุมชนสามัคคี และกลุ่มงานเวชกรรมสังคม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดเก็บปี พ.ศ. 2556 นำมาจำแนกค่าดัชนีลูกน้ำยุงลายเป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน (equal interval)

- ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ข้อมูลแหล่งน้ำได้จากการตีความภาพถ่ายออร์โทรี มาตราส่วน 1:4,000 นำมาสร้างแนวกันชน (buffer) ในระยะ 100 เมตร และพื้นที่แนวกันชนที่ได้หารด้วยเนื้อที่ชุมชน จากนั้นจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- การเกิดโรคซ้ำซาก มาจากข้อมูลสถิติการเกิดโรคไข้เลือดออกของแต่ละชุมชนในปี พ.ศ. 2552 ถึง 2556 จากหน่วยงานระบาดวิทยา สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ชุมชนที่เกิดโรคซ้ำซาก และชุมชนที่ไม่เกิดโรคซ้ำซาก โดยชุมชนที่เกิดโรคซ้ำซากเป็นชุมชนที่มีการเกิดโรค 3 ครั้งขึ้นไปภายใน 5 ปี

- จำนวนหลังคาเรือน เป็นข้อมูลจำนวนหลังคาเรือนตามทะเบียนบ้านจากกองสวัสดิการ เทศบาลเมืองมหาสารคามปี พ.ศ. 2557 นำมาหารด้วยเนื้อที่ชุมชน และจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- จำนวนประชากร ได้จากทะเบียน เทศบาลเมืองมหาสารคามปี พ.ศ. 2557 นำมาหารด้วยเนื้อที่ชุมชน และจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- จำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยง เป็นจำนวนประชากรที่มีอายุต่ำกว่า 15 ปี ในแต่ละชุมชน จากข้อมูลของศูนย์แพทย์ชุมชนอุทัยทิศ ศูนย์แพทย์ชุมชนบูรพา ศูนย์แพทย์ชุมชนสามัคคี และกลุ่มงานเวชกรรมสังคม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม นำมาจำแนกเป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด

ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ความหนาแน่นของประชากร ความหนาแน่นของประชากรกลุ่มเสี่ยง และระยะห่างจากแหล่งน้ำ

- ความหนาแน่นของประชากร นำข้อมูลจำนวนสมาชิกในครัวเรือนมาประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนล (kernel density) และจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- ความหนาแน่นของประชากรกลุ่มเสี่ยง นำข้อมูลจำนวนสมาชิกในครัวเรือนที่เป็นประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อการเกิดโรค มาประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนล (kernel density) และจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- ระยะห่างจากแหล่งน้ำ สร้างแนวกันชนจากแหล่งน้ำผิวดิน 3 ช่วงคือ น้อยกว่า 100 เมตร 100 ถึง 400 เมตร และมากกว่า 400 เมตร

การกำหนดค่าคะแนน

การกำหนดค่าคะแนน (rating) ในแต่ละปัจจัย ใช้วิธีผลบวกค่าลำดับชั้น (rank sum) ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมวิธีการหนึ่ง¹⁷ มีสมการในการคำนวณ¹⁸ คือ

$$R_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum_{k=1}^n (n - r_k + 1)}$$

โดย

R_j คือ ค่าคะแนนในช่วงค่าหรือกลุ่มที่ j

n คือ จำนวนช่วงค่าหรือกลุ่มของแต่ละปัจจัย ($k=1, 2, \dots, n$)

r_j คือ ลำดับชั้นของช่วงค่าหรือกลุ่มที่ j ของแต่ละปัจจัย

ตำแหน่งที่มีคะแนนสูงสุด แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกมากที่สุด ผลการคำนวณค่าคะแนนของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินระดับความเสี่ยงการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชนแสดงใน Table 1 และค่าคะแนนของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุดแสดงใน Table 2

Table 1 The classification and rating of factors to assess the risk of dengue hemorrhagic fever occurrence among the communities

house index of mosquito (HI)		distance from water bodies		endemic areas		number of households		number of population		number of population at risk	
range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹
0.00-10.84	0.07	0.00-0.44	0.07	Yes	0.33	140.36-734.37	0.07	172.91-1520.15	0.07	65-107	0.07
10.85-21.68	0.13	0.45-0.88	0.13	No	0.67	734.38-1,328.37	0.13	1520.16-2867.38	0.13	108-149	0.13
21.69-32.52	0.20	0.89-1.32	0.20			1328.38-1922.38	0.20	2867.39-4214.62	0.20	150-191	0.20
32.53-43.36	0.27	1.33-1.76	0.27			1922.39-2516.38	0.27	4214.63-5561.85	0.27	192-233	0.27
43.37-54.20	0.33	1.77-2.20	0.33			2516.39-3110.39	0.33	5561.86-6909.09	0.33	234-275	0.33

R¹ = rating

Table 2 The classification and rating of factors to assess the risk of dengue hemorrhagic fever occurrence in the communities that is the most highly at risk

distance from water bodies in three communities		density of population at risk in Thanya community 1		population density in Thanya community 1		density of population at risk in Pohsri community 1		population density in Pohsri community 1		density of population at risk in Pohsri community 2		population density in Pohsri community 2	
range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹
<100	0.50	0-4.04	0.07	0-27.66	0.07	0-4.90	0.07	0-26.69	0.07	0-7.39	0.07	0-42.51	0.07
100-400	0.33	4.05-8.08	0.13	27.67-55.32	0.13	4.91-9.79	0.13	26.70-53.37	0.13	7.40-14.79	0.13	42.52-85.01	0.13
>400	0.17	80.9-12.12	0.20	55.33-82.97	0.20	9.80-14.69	0.20	53.38-80.06	0.20	14.80-22.18	0.20	85.01-127.52	0.20
		12.13-16.16	0.27	82.98-110.63	0.27	14.70-19.58	0.27	80.07-106.74	0.27	22.19-29.58	0.27	127.53-170.03	0.27
		16.17-20.20	0.33	110.64-138.29	0.33	19.59-24.48	0.33	106.75-133.43	0.33	29.59-36.97	0.33	170.04-212.54	0.33

R¹ = rating

การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก

การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ใช้วิธีการในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (analytic hierarchical process, AHP) พัฒนาโดย Saaty¹⁹ ที่ได้รับความนิยมและนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย²⁰ โดยการจับคู่เปรียบเทียบ (pairwise comparison method) ในแต่ละคู่จะมีการกำหนดระดับความสำคัญของปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบกันตั้งแต่ 1 ถึง 9 (Table 3)

Table 3 Scale for pairwise comparison¹⁹

Intensity of Importance	Definition
1	Equal importance
2	Equal to moderate importance
3	Moderate importance
4	Moderate to strong importance
5	Strong importance
6	strong to very strong importance
7	Very strong importance
8	Very to extremely strong importance
9	Extremely importance

การประเมินความสอดคล้องของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้
ต้องการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (consistency index,
CI) ก่อน โดยคำนวณได้จากสมการ

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

λ_{\max} คือ ค่าไอเกน (eigenvalue) สูงสุดที่ได้จากเม
ทริกซ์การจับคู่เปรียบเทียบ

n คือ จำนวนปัจจัย

เมื่อได้ค่าดัชนีความสอดคล้องจะทำการคำนวณ
อัตราส่วนความสอดคล้อง (consistency ratio, CR) โดย
คำนวณได้จากสมการ

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

โดย RI คือ ค่าดัชนีอัตราส่วน (ratio index)

การประเมินความสอดคล้องของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้
พิจารณาจากอัตราส่วนความสอดคล้อง หากมีค่าน้อยกว่า 0.1
แสดงว่าค่าถ่วงน้ำหนักมีสอดคล้อง แต่ถ้ามากกว่า 0.1 แสดง
ว่าข้อมูลบางส่วนไม่สอดคล้องต้องมีการย้อนกลับไปตรวจสอบ
การจับคู่เปรียบเทียบปัจจัยอีกครั้ง

การลำดับความสำคัญของปัจจัยในการศึกษาครั้งนี้
ใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน ประกอบด้วย นักวิชาการสาธารณสุข
ชำนาญการ 2 คน นักวิชาการสาธารณสุข 3 คน พยาบาล
วิชาชีพชำนาญการ 1 คน พยาบาลวิชาชีพ 3 คน และผู้อำนวยการ
ส่วนส่งเสริมสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม 1 คน

ผลการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการประเมิน
ระดับความเสี่ยงการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชนของดัชนี
ลูกน้ำยุงลาย ระยะห่างจากแหล่งน้ำ การเกิดโรคซ้ำซาก
จำนวนหลังคาเรือน จำนวนประชากร และจำนวนประชากร
กลุ่มเสี่ยง เท่ากับ 0.48, 0.27, 0.14, 0.05, 0.03 และ 0.04
ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนความสอดคล้องเท่ากับ 0.098

ส่วนค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อ
การเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมาก
ที่สุด ของความหนาแน่นของประชากรกลุ่มเสี่ยง ความหนา
แน่นของประชากร และระยะห่างจากแหล่งน้ำ เท่ากับ 0.54,
0.30 และ 0.16 ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง
เท่ากับ 0.008

การคำนวณค่าดัชนี

ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของ
ชุมชนในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม และพื้นที่เสี่ยงต่อการ
เกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด
ประเมินจากค่าดัชนีที่คำนวณด้วยวิธีการให้ค่าน้ำหนักแบบง่าย
(simple additive weighting method) ดังสมการ¹⁸

$$I = \sum_j W_j R_{ij}$$

โดย I คือ ค่าดัชนี (index)

W_j คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ j

R_{ij} คือ ค่าคะแนนในช่วงค่าหรือกลุ่มที่ i ในปัจจัยที่ j

นำค่าดัชนีที่ได้มาแบ่งกลุ่มเพื่อจัดระดับความเสี่ยง
ออกเป็น 5 ระดับ ประกอบด้วย น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก
และมากที่สุด ด้วยวิธีการ geometrical interval เป็นการจัด
แบ่งช่วงค่าโดยพิจารณาจากความแตกต่างของค่าที่ต้องการ
จัดกลุ่ม ค่าที่มีความแตกต่างกันมากจะถูกจัดกลุ่มแยกออก
จากกัน นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงการกระจายของข้อมูลใน
แต่ละระดับความเสี่ยงให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน

ผลการศึกษา

ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของ ชุมชนในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม

ค่าดัชนีที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13 ถึง 0.29 เมื่อนำค่า
ดัชนีมาจำแนกด้วยวิธีการ geometrical interval (Table 4)
พบว่าชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออก
มากที่สุดอยู่ทางด้านเหนือของเทศบาล (Figure 1) จำนวน
3 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชนธัญญา 1 ชุมชนโพธิ์ศรี 1 และ
ชุมชมโพธิ์ศรี 2 เนื่องจากชุมชนธัญญา 1 และชุมชนโพธิ์ศรี 2
เป็นชุมชนที่มีค่าดัชนีลูกน้ำยุงลายสูง ส่วนชุมชนโพธิ์ศรี 1 เป็น
ชุมชนที่มีความหนาแน่นของแหล่งน้ำสูงกว่าชุมชนอื่น ชุมชน
ระดับความเสี่ยงมากมีจำนวน 4 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชน
ธัญญา 2 ชุมชนอุทัยทิศ 1 ชุมชนบ้านแมต และชุมชนส่องใต้
ชุมชนระดับความเสี่ยงปานกลางมีจำนวน 6 ชุมชน ประกอบด้วย
ชุมชนมหาชัย ชุมชนนาควิชัย 1 ชุมชนศรีสวัสดิ์ 3 ชุมชน
อุทัยทิศ 2 ชุมชนอุทัยทิศ 4 และชุมชนส่องเหนือ ส่วนชุมชน
ระดับความเสี่ยงต่ำมีจำนวน 14 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชน
ปัจฉิมทัศน์ 1 ชุมชนปัจฉิมทัศน์ 2 ชุมชนศรีสวัสดิ์ 2 ชุมชน
ธัญญา 3 ชุมชนธัญญา 4 ชุมชนสามัคคี 1 ชุมชนสามัคคี 2
ชุมชนอภิสิทธิ์ 1 ชุมชนอภิสิทธิ์ 2 ชุมชนนาควิชัย 2 ชุมชน
นาควิชัย 3 ชุมชนเครือวัลย์ 1 ชุมชนเครือวัลย์ 2 และชุมชน

ศรีมหาสารคาม และชุมชนระดับความเสี่ยงต่ำมากจำนวน 3 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชนตักสิลา ชุมชนศรีสวัสดิ์ 1 และ ชุมชนอุทัยทิศ 3

Table 4 Index value and the risk levels of dengue hemorrhagic fever occurrence among the communities

Index value	Risk levels	Number of community	Percent
0.13-0.15	Very low	3	10.00
0.15-0.17	Low	14	46.67
0.17-0.20	Moderate	6	20.00
0.20-0.23	High	4	13.33
0.23-0.29	Very high	3	10.00

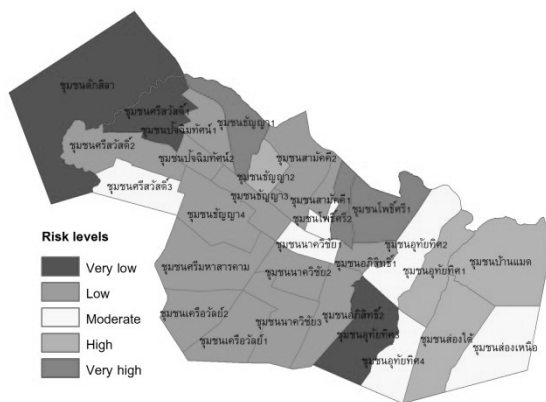


Figure 1 the risk map of dengue hemorrhagic fever occurrence among the communities in Maha Sarakham municipality

พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด

1. ชุมชนัญญา 1

ค่าดัชนีที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-0.33 เมื่อนำค่าดัชนีมาจำแนกด้วยวิธีการ geometrical interval (Table 5) พบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกมากและมากที่สุดอยู่บริเวณตอนใต้และทางทิศตะวันออกของพื้นที่ (Figure 2) มีเนื้อที่ประมาณ 70,286 ตร.ม. (ร้อยละ 9.70) และ 46,903 ตร.ม. (ร้อยละ 6.47) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยงหนาแน่น พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงปานกลางส่วนใหญ่พบบริเวณตอนบนของพื้นที่บริเวณที่ติดกับห้วยคะคาง และพื้นที่รอบสระน้ำ มีเนื้อที่ประมาณ 285,604 ตร.ม. (ร้อยละ 39.42) ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยและน้อยที่สุด มีเนื้อที่ประมาณ 292,733 ตร.ม. (ร้อยละ 40.41) และ 28,904 ตร.ม. (ร้อยละ 3.99) ตามลำดับ

Table 5 Index value and the risk levels of dengue hemorrhagic fever occurrence in Thanya community 1

Index value	Risk levels	Area cover (m ²)	Percent
0.08-0.09	Very low	28,904	3.99
0.09-0.10	Low	292,733	40.41
0.10-0.11	Moderate	285,604	39.42
0.11-0.16	High	70,286	6.47
0.16-0.33	Very high	46,903	6.47

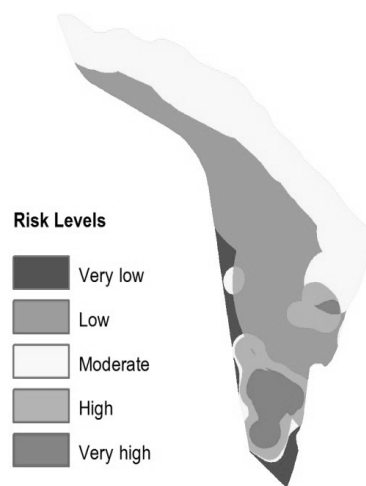


Figure 2 the risk map of dengue hemorrhagic fever occurrence in Thanya community 1

2. ชุมชนโพธิ์ศรี 1

ค่าดัชนีที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.09 ถึง 0.35 เมื่อนำค่าดัชนีมาจำแนกด้วยวิธีการ geometrical interval (Table 6) พบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกมากและมากที่สุดกระจายตัวอยู่บริเวณตอนใต้ ตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ (Figure 3) มีเนื้อที่ประมาณ 49,398 ตร.ม. (ร้อยละ 5.42) และ 41,271 ตร.ม. (ร้อยละ 4.53) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยงหนาแน่น พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงปานกลางพบน้อยที่สุดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่รอบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงมากมีเนื้อที่ประมาณ 34,825 ตร.ม. (ร้อยละ 3.82) พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยเป็นพื้นที่ที่มีเนื้อที่มากที่สุดประมาณ 659,866 ตร.ม. (ร้อยละ 72.43) ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากแหล่งน้ำไม่เกิน 100 เมตร และพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยที่สุด เป็นพื้นที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำระหว่าง 100 ถึง 400 เมตร และเป็นบริเวณที่ไม่มีประชาชนอาศัย มีเนื้อที่ประมาณ 125,693 ตร.ม. (ร้อยละ 13.80)

Table 6 Index value and the risk levels of dengue hemorrhagic fever occurrence in Pohsri community 1

Index value	Risk levels	Area cover (m ²)	Percent
0.09-0.10	Very low	125,693	13.80
0.10-0.11	Low	659,866	72.43
0.11-0.14	Moderate	34,825	3.82
0.14-0.21	High	49,398	5.42
0.21-0.35	Very high	41,271	4.53

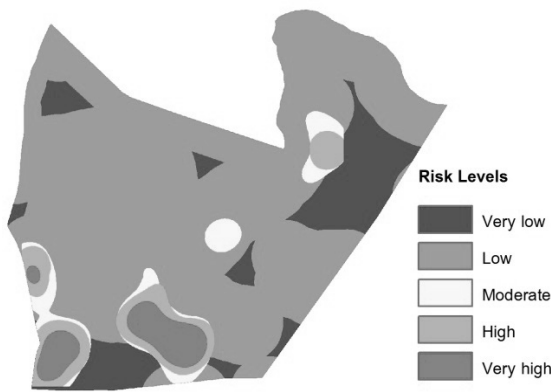


Figure 3 the risk map of dengue hemorrhagic fever occurrence in Pohsri community 1

3. ชุมชนโพธิ์ศรี 2

ค่าดัชนีที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08 ถึง 0.33 เมื่อนำค่าดัชนีมาจำแนกด้วยวิธีการ geometrical interval (Table 7) พบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกมากและมากที่สุดกระจายตัวอยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ (Figure 4) มีเนื้อที่ประมาณ 40,390 ตร.ม. (ร้อยละ 11.97) และ 34,465 ตร.ม. (ร้อยละ 10.21) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยงหนาแน่น พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงปานกลางเป็นพื้นที่ที่พบน้อยที่สุด ส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่รอบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงมาก มีเนื้อที่ประมาณ 15,857 ตร.ม. (ร้อยละ 4.70) พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยเป็นพื้นที่ที่มีเนื้อที่มากที่สุด ประมาณ 169,723 ตร.ม. (ร้อยละ 50.30) พบบริเวณตอนบนของพื้นที่ ในพื้นที่ที่อยู่ห่างจากแหล่งน้ำไม่เกิน 100 เมตร และเป็นบริเวณที่ไม่มีประชาชนอาศัยอยู่หรืออาศัยอยู่เบาบาง และพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยที่สุด เป็นพื้นที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำระหว่าง 100 ถึง 400 เมตร และมีประชาชนอาศัยอยู่เบาบาง มีเนื้อที่ประมาณ 76,994 ตร.ม. (ร้อยละ 22.82)

Table 7 Index value and the risk levels of dengue hemorrhagic fever occurrence in Pohsri community 2

Index value	Risk levels	Area cover (m ²)	Percent
0.08-0.10	Very low	76,994	22.82
0.10-0.12	Low	169,723	50.30
0.12-0.14	Moderate	15,857	4.70
0.14-0.20	High	40,390	11.97
0.20-0.33	Very high	34,465	10.21

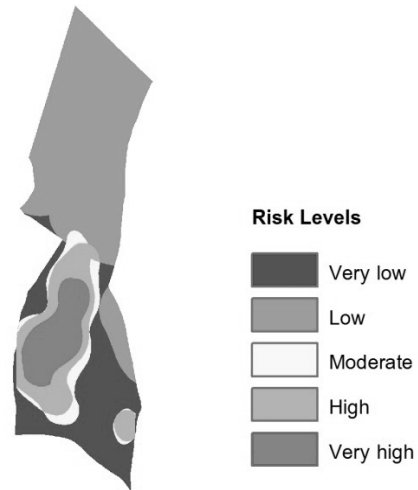


Figure 4 the risk map of dengue hemorrhagic fever occurrence in Pohsri community 2

วิจารณ์และสรุปผล

โรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่ยังไม่มีวัคซีนที่มีประสิทธิภาพในการป้องกัน ดังนั้นการลดการแพร่กระจายของโรคที่ดีที่สุด คือ การควบคุมยุงลาย รวมถึงการเฝ้าระวังต่อการเกิดโรค ข้อมูลพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดจึงมีความสำคัญต่องานด้านระบาดวิทยา จากการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการประเมินระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชนในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม และพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด พบชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด 3 ชุมชน คือ ชุมชนธัญญา 1 ชุมชนโพธิ์ศรี 1 และชุมชนโพธิ์ศรี 2 ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงมากและมากที่สุดภายในชุมชนทั้ง 3 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยงหนาแน่น สัมพันธ์กับ Tobler's first law of geography ที่ว่าสิ่งต่างๆ มีความสัมพันธ์กับสิ่งอื่น แต่สิ่งที่อยู่ใกล้จะมีความสัมพันธ์มากกว่าสิ่งที่อยู่ไกล²¹ และเป็นไปตามหลักการทางระบาดวิทยาของการเกิดโรคประชากรและชุมชนที่มีความหนาแน่นมากจะมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคสูง

เนื่องจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นการบูรณาการทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และเชิงบรรยาย สามารถวิเคราะห์และแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการนำมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันและควบคุมการระบาดของโรคไข้เลือดออก ทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูลระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรค สามารถแสดงขอบเขตลักษณะพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกให้เห็นชัดเจน และสามารถบ่งชี้พื้นที่เป้าหมายในการเฝ้าระวังการเกิดโรค เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจทางระบาดวิทยา ในกระบวนการงานเฝ้าระวังและป้องกันโรคระบาดต่อไป²² นอกจากนี้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการป้องกันโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น โรคมาลาเรีย^{23,24,25} โรคพยาธิใบไม้ตับ²⁶ และโรคเลปโตสไปโรซิส²⁷ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำวิธีการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในพื้นที่อื่นๆ นั้นจะต้องพิจารณาเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่นั้นๆ รวมถึงการกำหนดค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ปัจจัยด้านกายภาพเท่านั้น ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการนำปัจจัยด้านชีววิทยา สังคม กระบวนการควบคุมโรค รวมถึงพฤติกรรม การดำรงชีวิตเข้ามาเป็นปัจจัยที่ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงเพิ่มเติม นอกจากนี้ควรมีการขยายการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกให้ครอบคลุมทุกชุมชนภายในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม และควรมีการปรับปรุงผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกตามข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริง และสามารถนำไปใช้ได้โดยมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมโรคติดต่อ. คู่มือการควบคุมโรคไข้เลือดออก. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2533.
- ระวี สิริประเสริฐ. การควบคุมไข้เลือดออกเมื่อมีการระบาด: กรณีศึกษาในจังหวัดปราจีนบุรีปี 2542. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 2544; 10(4):622-628.
- สมภาพ อิงคินันท์. รายงานการตรวจไข้เลือดออกทางห้องปฏิบัติการ พ.ศ. 2523. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2524; 23(3):159-176.
- สุรเกียรติ์ อาชานานุภาพ. ตำราการตรวจรักษาโรคทั่วไป 2. กรุงเทพฯ: เชนเอนการพิมพ์; 2531.
- พิมพ์ประภัสสร แสงบัณฑิต. การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไข้เลือดออก จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการรับรู้อจากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2552.
- ประเสริฐ ทองเจริญ. ไข้เลือดออก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรสมัย; 2520.
- บุญล้วน พันธุมจินดา. ปัญหาไข้เลือดออกในบ้านเรา. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2526; 15(3): 175-183.
- ชาญชัยณรงค์ ทรงศาศรี. รูปแบบการพยากรณ์โรคไข้เลือดออก ในพื้นที่สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2555. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 ขอนแก่น. 2555; 20(1):65-81.
- กลุ่มงานระบาดวิทยาและข่าวกรอง สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น. สถานการณ์โรคที่เฝ้าระวังทางระบาดวิทยา. [Online].; 2556. สืบค้นจาก <http://dpc6.ddc.moph.go.th/>. 2 ธันวาคม 2556.
- หน่วยงานระบาดวิทยา. สถิติการเกิดโรคไข้เลือดออกปี พ.ศ. 2552-2556. มหาสารคาม: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม; 2556.
- จุฬารัตน์ ชัยรัตน์. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วิเคราะห์ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในจังหวัดหนองบัวลำภู. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศสาธารณสุข. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2548.
- จิรติวัล เครือศิลป์. ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549.
- ธนสาร เมธสุทธิ. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการระบาดของโรคไข้เลือดออกในจังหวัดสระแก้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุข. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2548.

- ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2550.
14. สุรศักดิ์ สุขสาย. การพยากรณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกเพื่อการวางแผนเฝ้าระวังและป้องกันโรคในจังหวัดอุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2550.
 15. อุดุลย์ กล้าขັນ. การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมกับการเกิดโรคไข้เลือดออกในจังหวัดกาฬสินธุ์โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศสาธารณสุข. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2549.
 16. สรวงสุดา คงมั่ง. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2553; 9:76-89.
 17. Stillwell WG, Seaver DA, Edwards W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organ Behav Hum Perf.* 1981; 28(1):62-77.
 18. Malczewski J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York: John Wiley & Sons; 1999.
 19. Saaty T. The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill; 1980.
 20. Coyle G. The analytic hierarchy process (AHP). [Online].; 2004. Available from: <http://www.booksites.net/download/coyle/download.htm>. Accessed September 22, 2013.
 21. Tobler W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Econ Geogr.* 1970; 46:234-240.
 22. พินิจ ฟ้าอำนวยผล, สมโภชน์ เกษน้อย, บุญมา นีรัตนาภรณ์, ศรีวรรณ ดิชะพันธ์, วีระ แยมกันชู. การพัฒนารูปแบบผสมผสานการดำเนินงานป้องกันและควบคุมโรคระดับอำเภอ อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์กรสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2542.
 23. อริศรา เจริญปัญญาเนตร. การแพร่ระบาดและการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงของโรคมาลาเรียบริเวณชายแดนไทย-พม่า ในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2545.
 24. ดุสิต โพธิ์ทอง, ทวีศักดิ์ ทองบุญ, วิเชษฐ์ ศรีสังข์. การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อโรคมาลาเรียในจังหวัดพิษณุโลก โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2551.
 25. วรวิทย์ บำรุงพงษ์, วัชรภรณ์ วิชชุกร, เสาวนีย์ ดีมูล. การวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงโรคมาลาเรียในพื้นที่จังหวัดตาก โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2552.
 26. สรญา แก้วพิบูลย์, ณีจรรุณี แก้วพิบูลย์. การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงสำหรับป้องกันและควบคุมโรคพยาธิใบไม้ตับในจังหวัดสุรินทร์ โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.
 27. วัชรพงษ์ แสงนิล, จารุวรรณ วงบุตดี, สุรจิต ภูภักดี. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดอุบลราชธานี. วารสารสาธารณสุข มหาวิทยาลัยบูรพา. 2552; 4(1):67-79.