

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 กิจกรรมที่ 1 การสำรวจหาดัชนีความชุกชุมของยุง

กิจกรรมการสำรวจหาดัชนีลูกน้ำยุงลายของครว้เรือนจากตำบล อำเภอในบริเวณป่าเชิงเขา และบริเวณชายทะเล ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีความชุกชุมของยุงที่ได้จากการสำรวจครว้เรือนจากตำบล อำเภอในบริเวณป่าเชิงเขา

บริเวณป่าเชิงเขา	จำนวนหลังคาเรือนที่สำรวจ	จำนวนหลังคาเรือนที่พบลูกน้ำ	H. I.
อำเภอตาขุน			
ตำบลเขาวง	46	6	13.04
ตำบลเขาพัง	41	4	9.76
อำเภอพนม			
ตำบลพนม	54	20	37.04
ตำบลคลองสก	43	9	20.93
อำเภอคีรีรัฐนิคม			
ตำบลท่าขนอน	55	15	27.27
ตำบลบ้านทำเนียบ	44	6	13.64

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าดัชนีความชุกชุมของยุงที่สำรวจจากครว้เรือนบริเวณป่าเชิงเขามีค่าสูงสุดคือตำบลพนมค่า H.I. เท่ากับ 37.04 รองลงมาคือ ตำบลท่าขนอนมีค่า H.I. เท่ากับ 27.27 และตำบลคลอง-สกมีค่า H.I. เท่ากับ 20.93

ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีความชุกชุมของยุงที่ได้จากการสำรวจครัวเรือนจากตำบล อำเภอในบริเวณชายทะเล

บริเวณชายทะเล	จำนวนหลังคาเรือนที่สำรวจ	จำนวนหลังคาเรือนที่พบลูกน้ำ	H. I.
อำเภอไชยา			
ตำบลเวียง	41	5	12.20
ตำบลทุ่ง	45	8	17.78
อำเภอดอนสัก			
ตำบลชลคราม	54	20	37.04
ตำบลดอนสัก	43	9	20.93
อำเภอท่าฉาง			
ตำบลท่าฉาง	44	13	29.55
ตำบลท่าเคย	44	6	13.64

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าดัชนีความชุกชุมของยุงที่สำรวจจากครัวเรือนบริเวณชายทะเลมีค่าสูงสุดคือตำบลชลคราม ค่า H.I. เท่ากับ 37.04 รองลงมาคือ ตำบลท่าฉางมีค่า H.I. เท่ากับ 29.55 และตำบลดอนสักมีค่า H.I. เท่ากับ 20.93

4.2 กิจกรรมที่ 2 การศึกษาความรู้ ทักษะและการมีส่วนร่วมในการป้องกันโรคไข้เลือดออกของชุมชนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

การศึกษาความรู้ ทักษะและการมีส่วนร่วมในการป้องกัน โรคไข้เลือดออกของชุมชนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี เก็บข้อมูลจาก 12 ตำบลจาก 6 อำเภอที่มีอัตราป่วยสูงได้แก่ อำเภอบ้านตาขุน อำเภอพนม อำเภอกีร์รัฐนิคม อำเภอไชยา อำเภอดอนสัก และอำเภอท่าฉาง ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 384 คนโดยผู้วิจัยได้ลำดับการนำเสนอผลการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ส่วนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ส่วนที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก

ส่วนที่ 3 ทักษะ การมีส่วนร่วม และความร่วมมือในองค์กรเกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้เลือดออก

ส่วนที่ 4 พฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออก

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ตารางที่ 4.3 จำนวนและร้อยละของข้อมูลส่วนบุคคล (n=384)

ประเด็น	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	112	29.20
หญิง	272	70.80
อายุ		
อายุต่ำกว่า 21 ปี	12	3.10
21 – 30 ปี	48	12.50
31 – 40 ปี	98	25.50
41 – 50 ปี	147	38.30
51 – 60 ปี	60	15.60
60 ปีขึ้นไป	18	4.70
ไม่ระบุ	1	0.30
ศาสนา		
พุทธ	380	99.00
คริสต์	1	0.30
อิสลาม	2	0.50
ไม่ระบุ	1	0.30
ระดับการศึกษาขั้นสูงสุด		
ต่ำกว่าระดับประถมศึกษา	8	2.10
ระดับประถมศึกษา	144	37.50
ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น	74	19.30
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	79	20.60

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ประเด็น	จำนวน	ร้อยละ
ระดับการศึกษาขั้นสูงสุด		
ระดับอนุปริญญา/ปวส.	32	8.30
ระดับปริญญาตรีขึ้นไป	46	12.00
ไม่ระบุ	1	0.30
สถานภาพการสมรส		
โสด	63	16.40
สมรส	299	77.90
หม้าย/หย่าร้าง	20	5.20
แยกกันอยู่	1	0.30
อาชีพ		
เกษตรกร	200	52.10
รับจ้างทั่วไป	42	10.90
ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	56	14.60
ทำงานบ้าน/แม่บ้าน	39	10.20
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	23	6.00
พนักงานบริษัท	7	1.80
อื่นๆ	16	4.20
ไม่ระบุ	1	0.30
จำนวนสมาชิกที่อาศัยในครัวเรือน		
1 – 3 คน	133	34.60
4 – 6 คน	230	59.90
7 – 9 คน	20	5.20
ไม่ระบุ	1	0.30

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ประเด็น	จำนวน	ร้อยละ
ในรอบ 1 ปีที่ผ่านมาสมาชิกป่วยเป็น		
โรคไข้เลือดออก		
ไม่มี	372	96.90
มี	11	2.90
- อายุต่ำกว่า 10 ปี	4	36.36
- อายุ 11 – 20 ปี	2	18.18
- อายุ 21 – 30 ปี	2	18.18
- อายุ 31 – 40 ปี	2	18.18
- อายุ 40 ปีขึ้นไป	1	9.09
ไม่ระบุ	1	9.09
การได้รับข้อมูลหรือความรู้เกี่ยวกับโรค		
ไม่เคย	2	0.50
เคย	382	99.50
แหล่งที่ได้รับข้อมูลหรือความรู้		
โทรทัศน์	103	26.96
วิทยุ	8	2.09
หนังสือพิมพ์	6	1.57
โปสเตอร์/แผ่นพับ	21	5.49
เจ้าหน้าที่สาธารณสุข/อสม.	241	63.08
อื่นๆ	1	0.26
ไม่ระบุ	1	0.26

จากตารางที่ 4.3 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง 272 คน คิดเป็นร้อยละ 70.80 โดยส่วนใหญ่มีอายุ 41-50 ปี จำนวน 147 คน คิดเป็นร้อยละ 38.80 รองลงมา มีอายุ 31-40 ปี จำนวน 98 คน คิดเป็นร้อยละ 25.50 และนับถือศาสนาพุทธ ถึงร้อยละ 99.00 กลุ่มตัวอย่างได้รับการศึกษาทุกคน โดยส่วนใหญ่มีการศึกษาขั้นสูงสุดในระดับประถมศึกษา จำนวน 144 คน คิดเป็นร้อยละ 37.50 รองลงมาคือระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. จำนวน 79 คน คิดเป็นร้อยละ 20.60 โดยส่วนใหญ่มีสถานภาพการสมรส จำนวน 299 คน คิดเป็นร้อยละ 77.90 กลุ่มตัวอย่างประกอบอาชีพเกษตรกร จำนวน 200 คน คิดเป็นร้อยละ 52.10 ส่วนใหญ่จะมีจำนวนสมาชิกที่อาศัยในครัวเรือน 4 – 6 คน จำนวน 230 คน คิดเป็นร้อยละ 59.90 และจากการสอบถามกลุ่มตัวอย่างในประเด็นในรอบ 1 ปีที่ผ่านมา มีสมาชิกในครัวเรือนป่วยเป็นโรคไข้เลือดออก พบว่า มีผู้ป่วย 11 ครัวเรือน จาก 384 ครัวเรือน กลุ่มตัวอย่างเคยได้รับข้อมูล ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก จำนวน 382 คน คิดเป็นร้อยละ 99.50 ซึ่งได้รับจากเจ้าหน้าที่สาธารณสุข/อสม. เป็นส่วนใหญ่ จำนวน 241 คน คิดเป็นร้อยละ 63.08

ส่วนที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก

ตารางที่ 4.4 จำนวนและร้อยละของความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก(n=384)

ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก	การตอบได้ถูกต้อง	
	จำนวน	ร้อยละ
1. โรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัส	313	81.50
2. ส่วนใหญ่ผู้ป่วยที่เป็นโรคไข้เลือดออกจะเป็นเด็กเล็ก	198	51.60
3. โรคไข้เลือดออกมีชื่อเรียกอีกอย่างว่าโรคชิคุนกุนยา	332	86.50
4. ยุงที่เป็นพาหะของไข้เลือดออกจะกัดคนในช่วงเวลา กลางคืน	305	79.40
5. โรคไข้เลือดออกพบได้ทุกพื้นที่ของประเทศไทยและ ระบาดมากในฤดูฝน	363	94.50
6. ผู้ป่วยไข้เลือดออกเมื่อมีอาการไข้สูงสามารถ รับประทานยาแอสไพรินเพื่อลดไข้ได้	273	71.10

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก	การตอบได้ถูกต้อง	
	จำนวน	ร้อยละ
7. บริเวณหรือภาชนะที่มีน้ำขังจะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ ยุงที่เป็นพาหะของโรคไข้เลือดออก	371	96.60
8. ยุงที่เป็นพาหะของโรคไข้เลือดออก คือ ยุงลายบ้าน และยุงลายสวน	342	89.10
9. ผู้ป่วยที่ป่วยเป็น โรคไข้เลือดออกในระยะแรกจะมี อาการหนาวสั่นและอ่อนเพลีย แต่จะหายภายใน 2-3 วัน	158	41.10
10. ในปัจจุบันมียาที่สามารถรักษาโรคไข้เลือดออกให้ หายได้	166	43.20
11. อาการที่เด่นชัดของผู้ป่วยไข้เลือดออก คือ ปวดข้อ และข้อบวม	316	82.30
12. ผู้ที่เคยป่วยเป็นโรคไข้เลือดออกจะไม่ป่วยด้วยโรคนี้ อีกเป็นครั้งที่สอง	313	81.50
13. การนอนกางมุ้งในเวลากลางวันเป็นวิธีหนึ่งในการ ป้องกันยุงกัด	363	94.50
14. ผู้ที่ป่วยเป็นโรคไข้เลือดออกควรทายากันยุงและ นอนในมุ้งเวลากลางวัน	319	83.10
15. วิธีที่ดีที่สุดในการควบคุมการระบาดของโรค ไข้เลือดออกคือ ทำลายแหล่งเพาะพันธุ์และกำจัดตัว ยุงลายเต็มวัย	360	93.80

จากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก พบว่า 5 ประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างมีความรู้ระดับสูงเรียงตามลำดับได้แก่ 1. บริเวณหรือภาชนะที่มีน้ำขังจะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงที่เป็นพาหะของโรคไข้เลือดออก 2. โรคไข้เลือดออกพบได้ทุกพื้นที่ของประเทศไทยและระบาดมากในฤดูฝน 3. การนอนกางมุ้งในเวลากลางวันเป็นวิธีหนึ่งในการป้องกันยุงกัด 4. วิธีที่ดีที่สุดในการควบคุมการระบาดของโรคไข้เลือดออกคือ ทำลายแหล่งเพาะพันธุ์และกำจัดตัวยุงลายเต็มวัยและ 5. ยุงที่เป็นพาหะของโรคไข้เลือดออก คือ ยุงลายบ้านและยุงลายสวน

ตารางที่ 4.5 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามระดับความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก

ระดับความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก	จำนวน	ร้อยละ
ระดับความรู้ (Mean \pm S.D. = 18.27 \pm 1.66)		
ระดับต่ำ	56	14.60
ระดับปานกลาง	241	62.70
ระดับสูง	87	22.70

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาระดับความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความรู้ในระดับปานกลาง จำนวน 241 คิดเป็นร้อยละ 62.10 มีความรู้ระดับสูง จำนวน 87 คน คิดเป็นร้อยละ 22.70 และมีความรู้ระดับต่ำ จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 14.60

ส่วนที่ 3 พฤติกรรมการป้องกันโรคไข้เลือดออก

ตารางที่ 4.6 ร้อยละของพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออกจำแนกรายด้านและรายชื่อ

(n=384)

พฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออก	ปฏิบัติเป็น	ปฏิบัติเป็น	ไม่เคยปฏิบัติ
	ประจำ	บางครั้ง	
1. ในชุมชน/บ้านของท่านมีกิจกรรมการกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์ยุง	71.00	27.90	1.00
2. ในชุมชน/บ้านของท่านมีกิจกรรมการสำรวจและกำจัดลูกน้ำยุงลาย	82.80	17.00	0.30
3. บ้านท่านมีภาชนะสำหรับใส่ขยะมูลฝอยแล้วนำไปทิ้ง	90.10	9.70	0.30
4. ท่านฉีดพ่นสารเคมี/จุดยากันยุง	48.30	47.80	3.90
5. ท่านใช้ควันไฟจากการเผาขยะเพื่อไล่ยุง	21.40	44.10	34.50
6. ท่านเลี้ยงปลาในลูกน้ำเพื่อลดจำนวนลูกน้ำยุงลาย	72.60	18.30	9.10
7. ท่านใช้เครื่องไล่ยุงไฟฟ้าหรือเครื่องช็อตไฟฟ้า	30.30	30.00	39.70
8. ท่านป้องกันยุงกัดด้วยการกางมุ้งหรือติดมุ้งลวด	80.20	13.80	6.00
9. ท่านปิดฝาภาชนะกักเก็บน้ำเพื่อป้องกันยุงมาวางไข่	86.70	11.70	1.60
10. ท่านใช้ยากันยุงทำจากสมุนไพรทาผิวเพื่อป้องกันยุงกัด	48.00	39.20	12.80
11. ท่านใส่ทรายอะเบทในภาชนะใส่น้ำเพื่อกำจัดลูกน้ำยุงลาย	74.90	24.00	1.00
12. ท่านคิดว่าภาชนะที่ไม่ใช้ประโยชน์เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง	87.70	12.30	0
13. ท่านจัดบ้านและบริเวณบ้านให้สะอาดเป็นระเบียบ ไม่มีมุมมืด มุมอับชื้น	83.30	16.40	0.30
14. เมื่อพบลูกน้ำยุงลายในภาชนะกักเก็บน้ำ ท่านจะกำจัดลูกน้ำในภาชนะนั้นทันที	90.60	9.40	0

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

พฤติกรรมกำรป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออก	ปฏิบัติเป็น ประจำ	ปฏิบัติเป็น บางครั้ง	ไม่เคย ปฏิบัติ
15. เมื่อมีสมาชิกในครอบครัวเป็นไข้ ตัวร้อน ก็จะเช็ดตัวลดไข้	91.90	6.50	1.60
16. เมื่อมีสมาชิกในครอบครัวป่วย มีไข้สูง ท่านซื้อยา กินเองก่อนไปพบแพทย์	29.00	32.40	38.60
17. ท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของเจ้าหน้าที่ สาธารณสุขและอสม.ในการป้องกันและ กำจัดยุงลาย	91.10	7.30	1.60
18. ท่านให้ความร่วมมือเมื่อเจ้าหน้าที่สาธารณสุข /อสม.เข้ามาสำรวจลูกน้ำยุงลาย	95.60	4.40	0
19. ท่านออกณรงค์การป้องกันและควบคุมโรค ไข้เลือดออกในชุมชนร่วมกับเจ้าหน้าที่ สาธารณสุข/อสม.	77.80	16.70	5.50
20. ท่านให้คำแนะนำการป้องกันและควบคุมโรค แก่ผู้อื่น	78.60	18.80	2.60

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาพฤติกรรมกำรป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออกโรค
ไข้เลือดออก พบว่า 5 ประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างมีพฤติกรรมปฏิบัติเป็นประจำเรียงตามลำดับดังนี้ 1)
ให้ความร่วมมือเจ้าหน้าที่สาธารณสุข/อสม.เข้ามาสำรวจลูกน้ำยุงลาย ร้อยละ 95.60, 2) เมื่อมีสมาชิก
ในครอบครัวเป็นไข้ ตัวร้อน ก็จะเช็ดตัวลดไข้ ร้อยละ 91.90, 3)ปฏิบัติตามคำแนะนำของเจ้าหน้าที่
สาธารณสุขและอสม. ในการป้องกันและกำจัดยุงลาย ร้อยละ 91.10, 4) เมื่อพบลูกน้ำยุงลายใน
ภาชนะกักเก็บน้ำ ท่านจะกำจัดลูกน้ำในภาชนะนั้นทันที ร้อยละ 90.60 และ 5) บ้านท่านมีภาชนะ
สำหรับใส่ขยะมูลฝอยแล้วนำไปทิ้ง ร้อยละ 90.10 ส่วนพฤติกรรมที่กลุ่มตัวอย่างไม่เคยปฏิบัติได้แก่
1) ท่านใช้เครื่องไล่ยุงไฟฟ้าหรือเครื่องช็อตไฟฟ้า ร้อยละ 39.70, 2) เมื่อมีสมาชิกในครอบครัวป่วย
มีไข้สูง ท่านซื้อยากินเองก่อนไปพบแพทย์ ร้อยละ 38.70 และ 3)ท่านใช้ควันไฟจากการเผาขยะเพื่อ
ไล่ยุง ร้อยละ 34.50

ตารางที่ 4.7 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามระดับพฤติกรรมการป้องกัน
โรคไข้เลือดออก(n=384)

ระดับพฤติกรรมการป้องกันโรคไข้เลือดออก	จำนวน	ร้อยละ
ระดับพฤติกรรม (Mean \pm S.D. = 52.72 \pm 3.91)		
ระดับต่ำ	51	13.30
ระดับปานกลาง	272	70.80
ระดับสูง	61	15.90

จากตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาระดับพฤติกรรมการป้องกันโรคไข้เลือดออกพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความรู้ในระดับปานกลาง จำนวน 272 คิดเป็นร้อยละ 70.80 มีความรู้ระดับสูงจำนวน 61 คน คิดเป็นร้อยละ 15.90 และมีความรู้ระดับต่ำ จำนวน 51 คน คิดเป็นร้อยละ 13.30

ส่วนที่ 4 ทักษะการมีส่วนร่วมและความร่วมมือในองค์กรเกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้เลือดออก

ตารางที่ 4.8 ร้อยละของทัศนคติ การมีส่วนร่วมและความร่วมมือในองค์กรเกี่ยวกับการป้องกัน
โรคไข้เลือดออกจำแนกรายด้านและรายข้อ

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
ทัศนคติ				
1. โรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่มีอัตราป่วยน้อย	49.90	25.60		24.50
2. โรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่สามารถป้องกันได้	93.20	5.50		1.30
3. ถ้าสมาชิกในครัวเรือนป่วยเป็นโรคไข้เลือดออก คนในครอบครัวจะมีโอกาสป่วยเป็นโรคไข้เลือดออก สูง	84.30	10.40		5.20
4. ถ้ามีไข้สูง มีผื่น และ ปวดข้อ/กล้ามเนื้อ จะเป็นโรค ไข้ปวดข้อยุ่งลาย	47.00	36.60		16.40
5. การทายากันยุงช่วยการป้องกันโรคไข้เลือดออก	77.30	15.70		7.00

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย
6. การใช้สมุนไพร เช่น ตะไคร้หอม สามารถป้องกัน ยุงลายได้	84.10	12.30	3.70
7. การนอนกางมุ้งในตอนกลางวันเป็นสิ่งที่น่ารำคาญ	54.00	9.90	36.00
8. การปล่อยปลาหางนกยูงลงในภาชนะที่ไม่มีฝาปิด จะช่วยลดจำนวนลูกน้ำยุงลายได้	95.80	2.90	1.30
9. การปิดฝาภาชนะกักเก็บน้ำให้มิดชิดเป็นการ ป้องกันยุงมาวางไข่	97.70	1.80	0.50
10. การฉีดพ่นสารเคมีกำจัดยุงควรดำเนินการพ่นขณะ พบผู้ป่วยหรือในช่วงที่มีการระบาดของโรค	82.50	4.40	13.10
11. ในรอบเดือนที่ผ่านมา / ช่วงที่โรคไข้เลือดออกกำลัง ระบาดท่านได้รับรู้ปัญหาโรคไข้เลือดออกร่วมกับ บุคคลในชุมชน	88.30	10.40	1.30
12. ในรอบเดือนที่ผ่านมา / ช่วงที่โรคไข้เลือดออก กำลังระบาดท่านได้เตรียมการในการป้องกันโรค ไข้เลือดออกร่วมกับบุคคลในชุมชน	86.90	11.00	2.10
การมีส่วนร่วม และความร่วมมือในองค์กร			
13. ในรอบเดือนที่ผ่านมา / ช่วงที่โรคไข้เลือดออก กำลังระบาดท่านได้ร่วมประชุม วิเคราะห์สาเหตุ และหาวิธีแก้ปัญหาโรคไข้เลือดออกร่วมกับ บุคคลในชุมชน	84.10	11.20	4.70
14. ในรอบเดือนที่ผ่านมา / ช่วงที่โรคไข้เลือดออก กำลังระบาดท่านได้ร่วมจัดทำแผนการป้องกัน โรคไข้เลือดออกร่วมกับบุคคลในชุมชน	84.30	10.20	5.50
15. การป้องกันและควบคุม โรคเป็นหน้าที่ของ เจ้าหน้าที่สาธารณสุข อสม.เท่านั้น	61.60	9.90	28.50
16. คนในชุมชนทุกคนสามารถเป็นอาสาสมัคร ป้องกันและควบคุมโรคไข้เลือดออกร่วมกับอสม.	94.30	4.40	1.30

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นใจ	ไม่เห็นด้วย
17. คนในชุมชนทุกคนควรให้ความร่วมมือกับองค์กรทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในการป้องกันและควบคุมโรคไข้เลือดออก	94.50	5.00	0.50
18. ผู้ป่วยที่เป็นโรคไข้เลือดออกเท่านั้นที่ควรปฏิบัติตามคำแนะนำของเจ้าหน้าที่สาธารณสุขและอสม. ในการป้องกันและควบคุมโรคอย่างเคร่งครัด	49.90	9.10	41.00
19. คนในชุมชนทุกคนควรตระหนักและให้ความร่วมมือกับการป้องกันและควบคุมโรคไข้เลือดออก	94.30	4.70	1.00
20. ในรอบเดือนที่ผ่านมา / ช่วงที่โรคไข้เลือดออกกำลังระบาดท่านได้ร่วมประเมินผลการป้องกันโรคไข้เลือดออกร่วมกับบุคคลในชุมชน	85.10	9.70	5.20

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ประเด็นทัศนคติที่กลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยมากที่สุดคือการปิดฝาภาชนะกักเก็บน้ำให้มีฉิดชิดเป็นการป้องกันยุงมาวางไข่ รองลงมาคือการปล่อยปลาหางนกยูงลงในภาชนะที่ไม่มีฝาปิดจะช่วยลดจำนวนลูกน้ำยุงลายได้และโรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่สามารถป้องกันได้

สำหรับประเด็นการมีส่วนร่วมและความร่วมมือในองค์กร พบว่า กลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยมากที่สุดคือคนในชุมชนทุกคนควรให้ความร่วมมือกับองค์กรทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในการป้องกันและควบคุมโรคไข้เลือดออก รองลงมาคือคนในชุมชนทุกคนสามารถเป็นอาสาสมัครป้องกันและควบคุมโรคไข้เลือดออกร่วมกับอสม. และคนในชุมชนทุกคนควรตระหนักและให้ความร่วมมือกับการป้องกันและควบคุมโรคไข้เลือดออก

ตารางที่ 4.9 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามระดับทัศนคติ การมีส่วนร่วม และความร่วมมือในองค์กรเกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้เลือดออก(n=384)

ระดับทัศนคติ การมีส่วนร่วม และความร่วมมือใน องค์กรเกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้เลือดออก	จำนวน	ร้อยละ
ระดับทัศนคติ การมีส่วนร่วม และความร่วมมือในองค์กร (Mean \pm S.D. = 52.18 \pm 3.84)		
ระดับต่ำ	52	13.60
ระดับปานกลาง	292	76.00
ระดับสูง	40	10.40

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาระดับทัศนคติ การมีส่วนร่วม และความร่วมมือในองค์กรเกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้เลือดออก พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความรู้ในระดับปานกลาง จำนวน 292 คิดเป็นร้อยละ 76.00 มีความรู้ระดับต่ำ จำนวน 52 คน คิดเป็นร้อยละ 13.60 และมีความรู้ระดับสูง จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 10.40

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเพศกับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค
ไข้เลือดออกของประชาชน

ลักษณะทาง ประชากร	รวม (ร้อยละ)	พฤติกรรมการป้องกัน ควบคุมโรค		χ^2	Cramer' V	Sig.
		ดี (ร้อยละ)	ไม่ดี (ร้อยละ)			
เพศ						
ชาย	112 (29.20)	99 (88.40)	13 (11.60)			
หญิง	272 (70.80)	235 (86.40)	37 (13.60)			

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.10 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเพศกับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค ซึ่งผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าเพศไม่มีความสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค โดยมีขนาดของความสัมพันธ์ 0.032 (Cramer's V = 0.032)

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค
ไข้เลือดออกของประชาชน

ลักษณะทาง ประชากร	รวม (ร้อยละ)	พฤติกรรมการป้องกัน ควบคุมโรค		χ^2	Cramer' V	Sig.
		ดี (ร้อยละ)	ไม่ดี (ร้อยละ)			
อายุ				6.358	0.142	0.042
ต่ำกว่า 31 ปี	60 (15.63)	43 (71.67)	17 (28.33)			
31 – 50 ปี	246 (64.06)	174 (70.73)	24 (9.76)			
51 ปีขึ้นไป	78 (20.31)	58 (74.36)	9 (11.54)			

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.11 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค ซึ่งผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

อายุไม่มีความสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค โดยมีขนาดของความสัมพันธ์ 0.142 (Cramer's V = 0.142)

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างศาสนากับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค
ไข้เลือดออกของประชาชน

ลักษณะทาง ประชากร	รวม (ร้อยละ)	พฤติกรรมการป้องกัน ควบคุมโรค		χ^2	Cramer' V	Sig.
		ควบคุมโรค				
		ดี (ร้อยละ)	ไม่ดี (ร้อยละ)			
ศาสนา				-	0.041	0.610
พุทธ	380 (98.96)	330 (86.84)	50 (13.16)			
คริสต์/อิสลาม	4 (1.04)	4 (100.00)	0 (0.00)			

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.12 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างศาสนากับระดับพฤติกรรมการป้องกัน
ควบคุมโรค ซึ่งผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

ศาสนาไม่มีความสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค โดยมีขนาดของ
ความสัมพันธ์ 0.041 (Cramer's V = 0.041)

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษาระดับสูงสุดกับพฤติกรรมการป้องกัน
ควบคุมไข้เลือดออกของประชาชน

ลักษณะทาง ประชากร	รวม (ร้อยละ)	พฤติกรรมการป้องกัน		χ^2	Cramer' V	Sig.
		ควบคุมโรค				
		ดี (ร้อยละ)	ไม่ดี (ร้อยละ)			
การศึกษาระดับ สูงสุด				2.475	0.088	0.290
ต่ำกว่า	152	130	22			
มัธยมศึกษา	(39.6)	(85.53)	(14.47)			
มัธยมศึกษา	153	137	16			
หรือเทียบเท่า	(39.9)	(89.54)	(10.46)			
ปริญญาตรีขึ้นไป	78	66	12			
ไป	(20.3)	(84.62)	(15.38)			

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.13 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษาระดับสูงสุดกับระดับพฤติกรรมการ
ป้องกันควบคุมโรค ซึ่งผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

การศึกษาระดับสูงสุดไม่มีความสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคโดยมี
ขนาดของความสัมพันธ์ 0.088 (Cramer's V = 0.088)

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสถานภาพการสมรสกับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออกของประชาชน

ลักษณะทางประชากร	รวม (ร้อยละ)	พฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค		χ^2	Cramer' V	Sig.
		ดี (ร้อยละ)	ไม่ดี (ร้อยละ)			
สถานภาพการสมรส				12.137	0.196	0.002*
โสด	63 (16.40)	48 (78.7)	13 (21.3)			
สมรส	299 (77.90)	238 (80.9)	56 (19.0)			
หม้าย/หย่าร้าง/ แยกกันอยู่	21 (5.50)	19 (65.5)	10 (34.5)			

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.14 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสถานภาพการสมรสกับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค ซึ่งผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

สถานภาพการสมรสมีความสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคโดยมีขนาดของความสัมพันธ์ 0.196 (Cramer's V = 0.196)

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพกับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค
ไข้เลือดออกของประชาชน

ลักษณะทาง ประชากร	รวม (ร้อยละ)	พฤติกรรมการป้องกัน ควบคุมโรค		χ^2	Cramer' V	Sig.
		ดี (ร้อยละ)	ไม่ดี (ร้อยละ)			
อาชีพ				-	0.207	0.018*
เกษตรกร	200 (52.10)	185 (92.50)	15 (7.50)			
รับจ้างทั่วไป	42 (10.90)	33 (78.57)	9 (21.40)			
ค้าขาย/ธุรกิจ	56 (14.60)	50 (89.29)	6 (10.70)			
ส่วนตัว	39 (10.20)	32 (82.05)	7 (17.90)			
ทำงานบ้าน/ แม่บ้าน	23 (6.00)	18 (78.26)	5 (21.70)			
ข้าราชการ/ รัฐวิสาหกิจ	7 (1.80)	4 (57.14)	3 (42.90)			
พนักงานบริษัท	16 (4.20)	11 (68.75)	5 (31.30)			
อื่นๆ						

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.15 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพกับระดับพฤติกรรมการป้องกัน
ควบคุมโรค ซึ่งผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า

อาชีพมีความสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคโดยมีขนาดของ
ความสัมพันธ์ 0.207 (Cramer's V = 0.207)

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการมีสมาชิกป่วยเป็นไข้เลือดออกกับ
พฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออกของประชาชน

ลักษณะทาง ประชากร	รวม (ร้อยละ)	พฤติกรรมการป้องกัน ควบคุมโรค			χ^2	Cramer' V	Sig.
		ควบคุมโรค					
		ดี (ร้อยละ)	ไม่ดี (ร้อยละ)				
สมาชิกป่วยเป็น ไข้เลือดออก							
ไม่มี		372 (96.90)	323 (86.83)	49 (13.20)			
มี		11 (2.90)	10 (90.91)	1 (9.10)			
					-	0.031	1.000

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.16 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการมีสมาชิกป่วยเป็นไข้เลือดออกกับระดับ
พฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค ซึ่งผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า
การมีสมาชิกป่วยเป็นไข้เลือดออกไม่มีความสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมการป้องกัน
ควบคุมโรค โดยมีขนาดของความสัมพันธ์ 0.031 (Cramer's V = 0.031)

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับข้อมูลหรือความรู้กับพฤติกรรม
การป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออกของประชาชน

ลักษณะทาง ประชากร	รวม (ร้อยละ)	พฤติกรรมการป้องกัน ควบคุมโรค			χ^2	Cramer' V	Sig.
		ควบคุมโรค		Sig.			
		ดี (ร้อยละ)	ไม่ดี (ร้อยละ)				
การได้รับข้อมูลหรือ ความรู้				-	0.070	0.223	
ไม่เคย		2 (0.52)	1 (50.0)	1 (50.0)			
เคย		382 (99.48)	333 (87.17)	49 (12.83)			

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.17 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับข้อมูลหรือความรู้กับระดับ
พฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค ซึ่งผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า
การได้รับข้อมูลหรือความรู้ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับพฤติกรรมการป้องกันควบคุมโรค
โดยมีขนาดของความสัมพันธ์ 0.07 (Cramer's V = 0.07)

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพพื้นที่กับพฤติกรรมการป้องกันโรคไข้เลือดออกของประชาชน

สภาพพื้นที่	ระดับพฤติกรรมการป้องกัน				χ^2	Cramer' V	p-value
	รวม	ควบคุมโรค					
	(ร้อยละ)	สูง (ร้อยละ)	ปานกลาง (ร้อยละ)	ต่ำ (ร้อยละ)			
สภาพพื้นที่					3.969	0.102	0.137
ป่าเชิงเขา	170 (44.30)	34 (20.00)	114 (67.10)	21 (12.40)			
ชายทะเล	214 (55.70)	27 (12.60)	158 (73.80)	29 (13.60)			

จากตารางที่ 4.18 พบว่า สภาพพื้นที่ไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคไข้เลือดออกของประชาชนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพพื้นที่กับความรู้อีกเกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก

สภาพพื้นที่	ความรู้เกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก				χ^2	Cramer' V	p-value
	รวม (ร้อยละ)	สูง (ร้อยละ)	ปาน กลาง (ร้อยละ)	ต่ำ (ร้อยละ)			
สภาพพื้นที่					17.569	0.	0.000*
						214	
ป่าเชิงเขา	170 (44.30)	44 (25.90)	88 (51.80)	37 (21.80)			
ชายทะเล	214 (55.70)	43 (20.10)	152 (71.00)	19 (8.90)			

* p < 0.05

จากตารางที่ 4.19 พบว่า สภาพพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กันกับความรู้เกี่ยวกับโรคโรคไข้เลือดออกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีขนาดของความสัมพันธ์เท่ากับ 0.214

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพพื้นที่กับทัศนคติ การมีส่วนร่วม และ ความร่วมมือในองค์กรเกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้เลือดออก

สภาพพื้นที่	ระดับทัศนคติ การมีส่วนร่วม				χ^2	Cramer' V	p-value
	รวม (ร้อยละ)	สูง (ร้อยละ)	ปาน กลาง (ร้อยละ)	ต่ำ (ร้อยละ)			
สภาพพื้นที่					8.852	0.	0.012*
						152	
ป่าเชิงเขา	170 (44.30)	26 (15.30)	128 (75.30)	16 (9.40)			
ชายทะเล	214 (55.70)	15 (7.00)	164 (76.60)	35 (16.40)			

* p < 0.05

จากตารางที่ 4.20 พบว่า สภาพพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กันกับทัศนคติ การมีส่วนร่วม และ ความร่วมมือในองค์กรเกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้เลือดออกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมี ขนาดของความสัมพันธ์เท่ากับ 0.152

ตารางที่ 4.21 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความรู้เรื่องโรคไข้เลือดออก ทักษะ

การมีส่วนร่วม และความร่วมมือขององค์กรกับพฤติกรรมป้องกันควบคุม
โรคไข้เลือดออก

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value	การแปลผล
ความรู้เรื่องโรคไข้เลือดออก	-0.173	.001*	ต่ำ
ทักษะ การมีส่วนร่วม และความ ร่วมมือขององค์กร	0.319	.000*	ปานกลาง

* $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.21 พบว่า ความรู้เรื่องโรคไข้เลือดออกกับพฤติกรรมป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออกมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ และทักษะ การมีส่วนร่วม และความร่วมมือขององค์กรกับพฤติกรรมป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออกมีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวก

4.3 กิจกรรมที่ 3 กิจกรรมการพัฒนาตัวแบบคณิตศาสตร์

ผลการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ และผลการหาคำตอบเชิงวิเคราะห์โดยการศึกษาจุดสมดุลของระบบ (Equilibrium Point) ศึกษาเสถียรภาพของจุดสมดุล ได้แก่ Disease free state และ Endemic state และผลการหาคำตอบเชิงตัวเลขเพื่อสนับสนุนคำตอบเชิงวิเคราะห์ของระบบสมการ

1) การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

กำหนดประชากรคน (Human population) มีจำนวนคงที่ ประชากรยุง (Mosquito) มีจำนวนคงที่ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งตัวแบบดังกล่าวมีข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

คนแบ่งเป็น 3 กลุ่ม

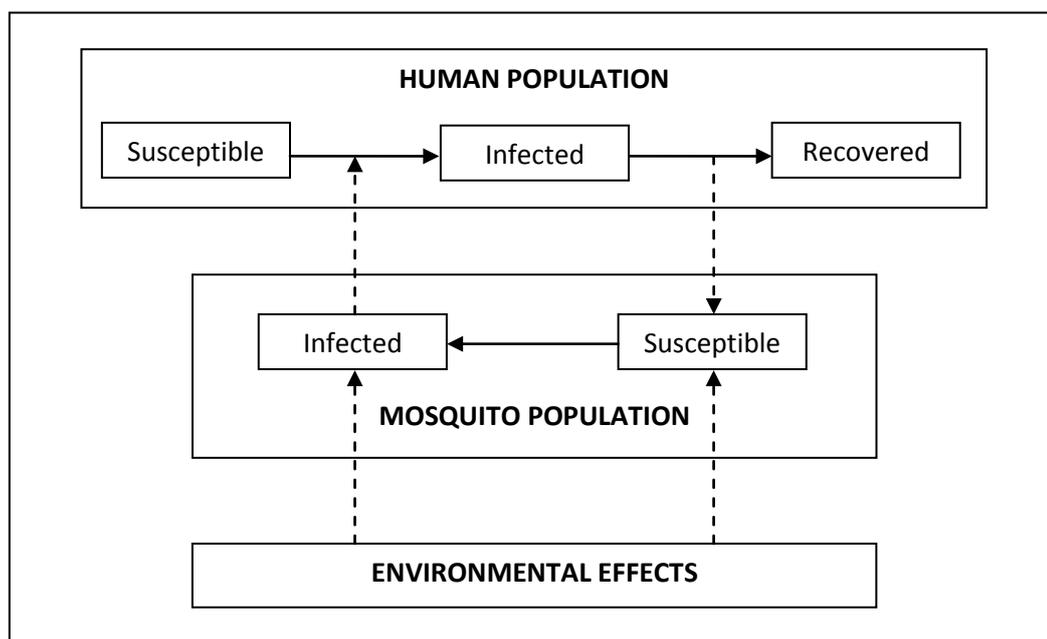
1. กลุ่มคนที่ไวต่อโรค (Susceptible) คือ คนที่ไม่มีภูมิคุ้มกัน มีโอกาสติดโรค หรือไม่ติดโรคก็ได้ (ยังไม่ติดโรค)
2. กลุ่มคนที่ติดโรค (Infected) คือ คนที่ติดโรค และสามารถแพร่เชื้อไวรัสไปสู่ผู้อื่นได้ หรือสามารถแพร่เชื้อไปยังคนอื่นได้
3. กลุ่มคนที่มีภูมิคุ้มกันต่อโรค (Recovered) คือ คนที่ติดโรคหลังจากผ่านระยะที่มีไวรัสในเลือดสูง (Viremia) จนถึงระยะที่มีภูมิคุ้มกันจากโรค โดยสมมติอัตราการตายของประชากรคนเนื่องจากโรคไม่มี

ยุงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มยุงที่ไวต่อโรค (Susceptible) คือ ยุงที่มีโอกาสติดโรค และยังไม่ติดโรค
2. กลุ่มยุงที่ติดโรค (Infected) คือ ยุงที่ติดโรค และสามารถแพร่เชื้อไวรัสไปสู่คนได้

(พาหะนำโรค) โดยยุงที่ติดโรคแล้วจะมีเชื้อไวรัสไปตลอดชีวิตของยุง

สิ่งแวดล้อม คือ สิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของยุง และสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของยุง



ภาพที่ 4.1 แผนภาพการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกระหว่างคนกับยุงที่มีผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โรคไข้เลือดออกที่มีผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยประชากรคนจะแบ่งเป็น กลุ่มคนที่ไวต่อโรค (S_h) กลุ่มคนที่ติดโรค (I_h) และกลุ่มคนที่มีภูมิคุ้มกันต่อโรค (R_h) ส่วนประชากรยุงแบ่งจะเป็นกลุ่มยุงที่ไวต่อโรค (S_m) และกลุ่มยุงที่ติดโรค (I_m) และสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของประชากรยุง (E)

การสร้างตัวแบบจะพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทั้ง 6 ดังนี้

\bar{S}_h คือ กลุ่มคนที่ไวต่อโรค ณ เวลา t ใด ๆ

\bar{I}_h คือ กลุ่มคนที่ติดโรค ณ เวลา t ใด ๆ

\bar{R}_h คือ กลุ่มคนที่มีภูมิคุ้มกันต่อโรค ณ เวลา t ใด ๆ

\bar{S}_m คือ กลุ่มยุงที่ไวต่อโรค ณ เวลา t ใด ๆ

\bar{I}_m คือ กลุ่มยุงที่ติดโรค ณ เวลา t ใด ๆ

\bar{E} คือ สิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของประชากรยุง ณ เวลา t ใด ๆ

เมื่อ	N_h	คือ จำนวนประชากรคนทั้งหมด
	N_m	คือ จำนวนประชากรยุงทั้งหมด
	λ_h	คือ อัตราการเกิดของคน
	μ_h	คือ อัตราการตายของคนตามธรรมชาติและตายเนื่องจากโรค
	β_m	คือ ความน่าจะเป็นในการแพร่เชื้อของไวรัสจากยุงไปสู่คน
	β_h	คือ ความน่าจะเป็นในการแพร่เชื้อของไวรัสจากคนไปสู่ยุง
	γ_h	คือ อัตราการมีภูมิคุ้มกันของคนที่ติดเชื้อ
	γ	คือ อัตราการเจริญเติบโตของยุง
	γ_0	คือ อัตราการตายของยุงตามธรรมชาติและจากมาตรการควบคุม
	L	คือ การเจริญเติบโตของประชากรยุงที่มากที่สุดที่สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติสามารถที่จะรองรับได้ (Carrying capacity)
	δ	คือ อัตราการเจริญเติบโตของประชากรยุง
	K	คือ อัตราการเพิ่มของสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเติบโตขึ้นของยุง
	θ	คือ อัตราการเพิ่มของสิ่งแวดล้อมเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เอื้อต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของยุง
	θ_0	คือ อัตราการลดลงของสิ่งแวดล้อมโดยธรรมชาติที่เอื้อต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของยุง

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของโรคไข้เลือดออกที่มีผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมเป็นแบบเชิงคณิตศาสตร์แบบ SIR (SIR MODEL: Susceptible-Infections-Recovered) ที่มีระบบสมการเชิงอนุพันธ์ไม่เชิงเส้น ดังนี้

$$\frac{d\bar{S}_h}{dt} = \lambda_h N_h - \beta_m \bar{I}_m \bar{S}_h - \mu_h \bar{S}_h \quad (1)$$

$$\frac{d\bar{I}_h}{dt} = \beta_m \bar{I}_m \bar{S}_h - (\mu_h + \gamma_h) \bar{I}_h \quad (2)$$

$$\frac{d\bar{R}_h}{dt} = \gamma_h \bar{I}_h - \mu_h \bar{R}_h \quad (3)$$

$$\frac{d\bar{S}_m}{dt} = \gamma N_m \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) - \beta_h \bar{S}_m \bar{I}_h - \gamma_0 \bar{S}_m + \delta \bar{E} \bar{S}_m \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{I}_m}{dt} = \beta_h \bar{S}_m \bar{I}_h - \gamma_0 \bar{I}_m + \delta \bar{E} \bar{I}_m \quad (5)$$

$$\frac{d\bar{E}}{dt} = K + \theta N_h - \theta_0 \bar{E} \quad (6)$$

ผลรวมของประชากรคน (N_h) สามารถหาได้โดย $N_h = \bar{S}_h + \bar{I}_h + \bar{R}_h$ และผลรวมของประชากรยุง (N_m) สามารถหาได้โดย $N_m = \bar{S}_m + \bar{I}_m$

ในการสร้างตัวแบบการแพร่ระบาดของโรค มักจะใช้หลักอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มใด ๆ เท่ากับ อัตราที่มีผลต่อการเพิ่มของประชากรลบด้วยอัตราที่มีผลต่อการลดลงของประชากร นั่นคือ

$$\text{RATE OF CHANGE} = \text{RATE INFLOW} - \text{RATE OUTFLOW}$$

สมการ (1) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มคนที่ไวต่อโรค เมื่อเทียบกับเวลา t ใด ๆ เท่ากับ การเพิ่มขึ้นของจำนวนคนที่เกิดใหม่ทั้งหมด ลดลงด้วยกลุ่มคนที่ไวต่อโรคที่ถูกกลุ่มยุงกัด เชื้อกัด ลดลงด้วยกลุ่มคนที่ไวต่อโรคตาย

สมการ (2) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มคนที่ติดโรค เมื่อเทียบกับเวลา t ใด ๆ เท่ากับ การเพิ่มขึ้นของกลุ่มคนที่ไวต่อโรคที่ถูกกลุ่มยุงกัด เชื้อกัด ลดลงด้วยกลุ่มคนที่ติดโรคแล้วมีภูมิคุ้มกัน และตาย

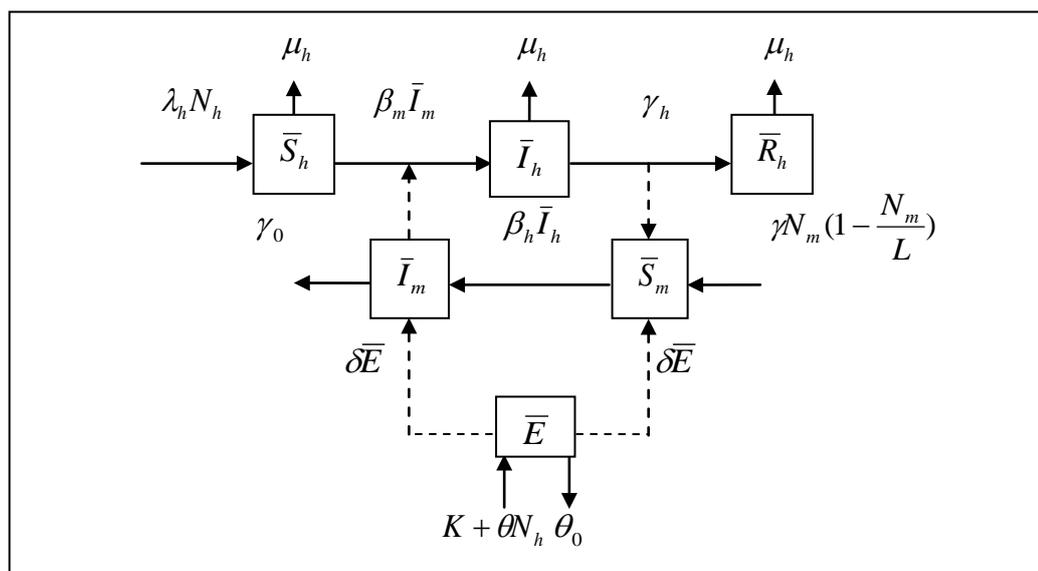
สมการ (3) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มคนที่ภูมิคุ้มกัน เมื่อเทียบกับเวลา t ใด ๆ เท่ากับ การเพิ่มขึ้นของกลุ่มคนที่ติดโรคแล้วมีภูมิคุ้มกัน ลดลงด้วยกลุ่มคนที่ภูมิคุ้มกันแล้วตาย

สมการ (4) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มยุงที่ไวต่อโรค เมื่อเทียบกับเวลา t ใด ๆ เท่ากับ การเพิ่มขึ้นของจำนวนยุงทั้งหมดที่มีการเจริญเติบโต และเพิ่มขึ้นด้วยกลุ่มยุงที่ไวต่อโรคมีการเจริญเติบโตจากความหนาแน่นสะสมของการปล่อยสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของประชากรยุง ลดลงด้วยจำนวนยุงทั้งหมดที่มีขีดจำกัดการเจริญเติบโตของประชากรยุงในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ลดลงด้วยกลุ่มยุงที่ไวต่อโรคกัดกลุ่มคนที่ติดโรค ลดลงด้วยกลุ่มยุงที่ไวต่อโรคตาย

สมการ (5) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มยุงที่ติดโรค เมื่อเทียบกับเวลา t ใด ๆ เท่ากับการเพิ่มขึ้นของกลุ่มยุงที่ไวต่อโรคกัคนกลุ่มคนที่ติดโรค และเพิ่มขึ้นด้วยกลุ่มยุงที่ติดโรคมีการเจริญเติบโตจากความหนาแน่นสะสมของการปล่อยสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของประชากรยุง ลดลงด้วยกลุ่มยุงที่ติดโรคตายเนื่องจากสาเหตุตามธรรมชาติและการควบคุมมาตรการ

สมการ (6) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของประชากรยุง เมื่อเทียบกับเวลา t ใด ๆ เท่ากับการเพิ่มขึ้นของการปล่อยสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อความหนาแน่นสะสมสิ่งแวดล้อมที่เติบโตขึ้น และเพิ่มขึ้นด้วยประชากรคนทั้งหมดที่ทำการปล่อยสิ่งแวดล้อมเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เอื้อต่อความหนาแน่นสะสมสิ่งแวดล้อมที่เติบโตขึ้น ลดลงด้วยอัตราการพร่องของการปล่อยสิ่งแวดล้อมโดยธรรมชาติที่เอื้อต่อความหนาแน่นสะสมของสิ่งแวดล้อมที่เติบโตขึ้นที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของประชากรยุง

จากระบบสมการ (1) - (6) สามารถเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของโรคไข้เลือดออกที่มีผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้ดังนี้



ภาพที่ 4.2 แผนภาพแสดงตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของโรคไข้เลือดออกที่มีผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม

เพื่อต้องการลดทอนขนาดของระบบ (Normalize the model) พิจารณาระบบที่ลดลงต่อไปนี้

ผลรวมของประชากรคน (N_h)

ให้

$$\begin{aligned}\bar{S}_h + \bar{I}_h + \bar{R}_h &= N_h \\ \frac{\bar{S}_h}{N_h} + \frac{\bar{I}_h}{N_h} + \frac{\bar{R}_h}{N_h} &= \frac{N_h}{N_h} \\ S_h + I_h + R_h &= 1\end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}R_h &= 1 - S_h - I_h \\ \frac{\bar{S}_h}{N_h} = S_h & ; \quad \bar{S}_h = S_h N_h \\ \frac{\bar{I}_h}{N_h} = I_h & ; \quad \bar{I}_h = I_h N_h\end{aligned}$$

จาก $\bar{S}_h + \bar{I}_h + \bar{R}_h = N_h$

$$\begin{aligned}\frac{dN_h}{dt} &= \frac{d\bar{S}_h}{dt} + \frac{d\bar{I}_h}{dt} + \frac{d\bar{R}_h}{dt} \\ \frac{dN_h}{dt} &= (\lambda_h - \mu_h)N_h \\ \frac{dN_h}{N_h dt} &= \lambda_h - \mu_h\end{aligned}$$

ผลรวมของประชากรหญิง (N_m)

ให้

$$\begin{aligned}\bar{S}_m + \bar{I}_m &= N_m \\ \frac{\bar{S}_m}{N_m} + \frac{\bar{I}_m}{N_m} &= \frac{N_m}{N_m} \\ S_m + I_m &= 1\end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}S_m &= 1 - I_m \\ \frac{\bar{S}_m}{N_m} = S_m & ; \quad \bar{S}_m = S_m N_m \\ \frac{\bar{I}_m}{N_m} = I_m & ; \quad \bar{I}_m = I_m N_m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{จาก } \bar{S}_m + \bar{I}_m &= N_m \\
\frac{dN_m}{dt} &= \frac{d\bar{S}_m}{dt} + \frac{d\bar{I}_m}{dt} \\
\frac{dN_m}{dt} &= \gamma N_m \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) - \gamma_0 N_m + \delta \bar{E} N_m \\
\frac{dN_m}{N_m dt} &= \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) - \gamma_0 + \delta \bar{E}
\end{aligned}$$

สามารถลดทอนระบบสมการ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\text{จาก } S_h &= \frac{\bar{S}_h}{N_h} \\
\frac{dS_h}{dt} &= \frac{N_h \bar{S}_h' - \bar{S}_h N_h'}{N_h^2} \\
&= \frac{\bar{S}_h'}{N_h} - \frac{\bar{S}_h}{N_h} \cdot \frac{N_h'}{N_h} \\
&= \frac{\bar{S}_h'}{N_h} - S_h \cdot \frac{N_h'}{N_h} \\
&= \lambda_h - \beta_m I_m N_m S_h - \mu_h S_h - S_h (\lambda_h - \mu_h) \\
&= \lambda_h (1 - S_h) - \beta_m N_m I_m S_h
\end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\frac{dI_h}{dt} = \beta_m N_m I_m S_h - (\lambda_h + \gamma_h) I_h \quad (8)$$

$$\frac{dR_h}{dt} = \gamma_h I_h - \lambda_h R_h \quad (9)$$

และ

$$\frac{dS_m}{dt} = \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) (1 - S_m) - \beta_h S_m I_h N_h \quad (10)$$

$$\frac{dI_m}{dt} = \beta_h S_m I_h N_h - \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) I_m \quad (11)$$

$$\frac{dE}{dt} = K + \theta N_h - \theta_0 E \quad (12)$$

จะได้ตัวแบบหลังลดทอน ดังนี้

$$\frac{dS_h}{dt} = \lambda_h(1-S_h) - \beta_m N_m I_m S_h \quad (13)$$

$$\frac{dI_h}{dt} = \beta_m N_m I_m S_h - (\mu_h + \gamma_h) I_h \quad (14)$$

$$\frac{dI_m}{dt} = \beta_h(1-I_m)N_h I_h - \gamma(1-\frac{N_m}{L})I_m \quad (15)$$

$$\frac{dE}{dt} = K + \theta N_h - \theta_0 E \quad (16)$$

หมายเหตุ $E = \bar{E}$

2) การวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ตามวิธีมาตรฐาน

การวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็น การวิเคราะห์ตามแบบมาตรฐาน (Standard Method) โดยศึกษาจุดสมดุล และศึกษาเสถียรภาพของจุดสมดุลเพื่อหาเงื่อนไขของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของจุดสมดุลนั้น โดยวิธีเชิงวิเคราะห์และหาคำตอบเชิงตัวเลขของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของโรคไข้เลือดออกกับผลกระทบของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาจุดสมดุลทำได้โดยจัดสมการ (13), (14), (15), (16) ทางด้านขวามือเท่ากับศูนย์ จะได้

$$\frac{dS_h}{dt} = 0, \quad \frac{dI_h}{dt} = 0, \quad \frac{dI_m}{dt} = 0, \quad \frac{dE}{dt} = 0$$

พิจารณาสมการ (13)

$$\lambda_h(1-S_h) - \beta_m I_m N_m S_h = 0$$

$$S_h = \frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m I_m N_m} \quad (17)$$

พิจารณาสมการ (14)

$$\beta_m I_m N_m S_h - (\lambda_h + \mu_h) I_h = 0$$

$$I_h = \frac{\beta_m I_m N_m S_h}{\lambda_h + \mu_h}$$

จาก $S_h = \frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m I_m N_m}$

จะได้

$$I_h = \frac{\beta_m I_m N_m \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m I_m N_m} \right)}{\lambda_h + \gamma_h}$$

$$I_h = \frac{\lambda_h N_m \beta_m I_m}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m I_m N_m)} \quad (18)$$

พิจารณาสมการ (16)

$$K + \theta N_h - \theta_0 E = 0$$

$$K + \theta N_h = \theta_0 E$$

$$E = \frac{K + \theta N_h}{\theta_0} \quad (19)$$

พิจารณาสมการ (15)

$$\beta_h I_h N_h (1 - I_m) - \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) I_m = 0$$

จาก
$$I_h = \frac{\lambda_h N_m \beta_m I_m}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m I_m N_m)}$$

จาก (15) จะได้ว่า

$$\beta_h (1 - I_m) \left(\frac{\lambda_h N_m \beta_m I_m}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m I_m N_m)} \right) N_m = \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) I_m$$

$$\gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) (\lambda_h + \gamma_h) (\beta_m N_m) I_m^2 + [\gamma \lambda_h (\lambda_h + \gamma_h) \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) + \beta_h \beta_m \lambda_h N_h^2] I_m - \beta_h \beta_m \lambda_m N_h^2 = 0$$

เขียนในรูปสมการ

$$A I_m^2 + B I_m + C = 0$$

เมื่อ $A = \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) (\lambda_h + \gamma_h) (\beta_m N_m)$

$$B = \gamma \lambda_h (\lambda_h + \gamma_h) \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) + \beta_h \beta_m \lambda_h N_h^2$$

$$C = -\beta_h \beta_m \lambda_m N_h^2$$

โดย
$$I_m = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

เลือก $I_m > 0$ โดยจะต้องสอดคล้องกับ $AC < 0$

จากระบบสมการ (17) - (20) จะได้ว่า

$$S_h = \frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m N_m I_m}$$

$$I_h = \frac{\lambda_h \beta_m N_m I_m}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m)}$$

$$I_m = 0, I_m = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$E = \frac{K + \theta N_h}{\theta_0}$$

ในระบบนี้จะให้จุดสมดุล 2 จุด เนื่องจากมี I_m 2 ค่า

(1) จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free Equilibrium : E_0) แทนด้วย $E_0(S_h, I_h, I_m, E)$

กรณี $I_m = 0$

จาก $S_h = \frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m I_m N_m}$

แทน $I_m = 0$

จะได้ $S_h = \frac{\lambda_h}{\lambda_h}$

$$S_h = 1$$

จาก $I_h = \frac{\lambda_h \beta_m N_m I_m}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m)}$

แทน $I_m = 0$

จะได้ $I_h = 0$

และ $E = \frac{K + \theta N_h}{\theta_0}$

นั่นคือ $E_0(S_h, I_h, I_m, E) = \left(1, 0, 0, \frac{K + \theta N_h}{\theta_0}\right)$

ความเสถียรของระบบ (Stability of systems) ที่จุด $E_0(S_h, I_h, I_m, E)$

หาเมทริกซ์จาโคเบียน (Jacobian Matrix)

กำหนดให้

$$F_1(S_h, I_h, I_m, E) = \lambda_h - \lambda_h S_h - \beta_m N_m I_m S_h$$

$$F_2(S_h, I_h, I_m, E) = \beta_m N_m I_m S_h - (\lambda_h + \gamma_h) I_h$$

$$F_3(S_h, I_h, I_m, E) = \beta_h N_h (1 - I_m) I_h - \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) I_m$$

$$F_4(S_h, I_h, I_m, E) = K + \theta N_h - \theta_0 E$$

$$\begin{array}{llll}
\frac{\partial F_1}{\partial S_h} = -\lambda_h - \beta_m N_m I_m & \frac{\partial F_1}{\partial I_h} = 0 & \frac{\partial F_1}{\partial I_m} = -\beta_m N_m S_h & \frac{\partial F_1}{\partial E} = 0 \\
\frac{\partial F_2}{\partial S_h} = \beta_m N_m I_m & \frac{\partial F_2}{\partial I_h} = -(\lambda_h + \gamma_h) & \frac{\partial F_2}{\partial I_m} = \beta_m N_m S_h & \frac{\partial F_2}{\partial E} = 0 \\
\frac{\partial F_3}{\partial S_h} = 0 & \frac{\partial F_3}{\partial I_h} = \beta_h N_h (1 - I_m) & \frac{\partial F_3}{\partial I_m} = -\beta_h N_h I_h - \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) & \frac{\partial F_3}{\partial E} = 0 \\
\frac{\partial F_4}{\partial S_h} = 0 & \frac{\partial F_4}{\partial I_h} = 0 & \frac{\partial F_4}{\partial I_m} = 0 & \frac{\partial F_4}{\partial E} = -\theta_0
\end{array}$$

จะได้เมทริกซ์จาโคเบียน

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial S_h} & \frac{\partial F_1}{\partial I_h} & \frac{\partial F_1}{\partial I_m} & \frac{\partial F_1}{\partial E} \\ \frac{\partial F_2}{\partial S_h} & \frac{\partial F_2}{\partial I_h} & \frac{\partial F_2}{\partial I_m} & \frac{\partial F_2}{\partial E} \\ \frac{\partial F_3}{\partial S_h} & \frac{\partial F_3}{\partial I_h} & \frac{\partial F_3}{\partial I_m} & \frac{\partial F_3}{\partial E} \\ \frac{\partial F_4}{\partial S_h} & \frac{\partial F_4}{\partial I_h} & \frac{\partial F_4}{\partial I_m} & \frac{\partial F_4}{\partial E} \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} -\lambda_h - \beta_m N_m I_m & 0 & -\beta_m N_m S_h & 0 \\ \beta_m N_m I_m & -(\lambda_h + \gamma_h) & \beta_m N_m S_h & 0 \\ 0 & \beta_h N_h (1 - I_m) & -\beta_h N_h I_h - \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\theta_0 \end{bmatrix}$$

หาค่าลักษณะเฉพาะจาก $|J - \lambda I| = 0$

$$|J - \lambda I| = \begin{bmatrix} -(\lambda_h + \beta_m N_m I_m) - \lambda & 0 & -\beta_m N_m S_h & 0 \\ \beta_m N_m I_m & -(\lambda_h + \gamma_h) - \lambda & \beta_m N_m S_h & 0 \\ 0 & \beta_h N_h (1 - I_m) & -\left(\beta_h N_h I_h + \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right)\right) - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\theta_0 - \lambda \end{bmatrix}$$

หาสมการลักษณะเฉพาะ (Characteristic equation) ที่จุด E_0 โดยให้

$$\det(J_0 - \lambda I) = 0$$

เมื่อ λ เป็นค่าลักษณะเฉพาะและ I เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 4×4

$$\text{หาค่าลักษณะเฉพาะ ที่จุด } E_0(S_h, I_h, I_m, E) = \left(1, 0, 0, \frac{K + \theta N_h}{\theta_0}\right)$$

$$|J_0 - \lambda I| = \begin{vmatrix} -\lambda_h - \lambda & 0 & -\beta_m N_m & 0 \\ 0 & -(\lambda_h + \gamma_h) - \lambda & \beta_m N_m & 0 \\ 0 & \beta_h N_h & -\gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\theta_0 - \lambda \end{vmatrix}$$

$$\det(J_0 - \lambda I) = (-\theta_0 - \lambda)(-\lambda_h - \lambda) \left[(\lambda + (\lambda_h + \gamma_h)) \left(\lambda + \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) \right) - \beta_h \beta_m N_m N_h (\lambda + \lambda_h) \right]$$

สมการลักษณะเฉพาะที่ได้

$$\lambda^2 + A\lambda \left[(\lambda + (\lambda_h + \gamma_h)) \left(\lambda + \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) \right) - \beta_h \beta_m N_m N_h (\lambda + \lambda_h) \right] = 0$$

$$\lambda^2 + [\lambda_h + \gamma_h + \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right)] \lambda + \gamma (\lambda_h + \gamma_h) \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) - \beta_h \beta_m N_m N_h = 0$$

$$\lambda^2 + A_1 \lambda + B_1 = 0$$

เมื่อ

$$A_1 = \lambda_h + \gamma_h + \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right)$$

$$B_1 = \gamma (\lambda_h + \gamma_h) \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) - \beta_h \beta_m N_m N_h$$

จะได้

$$\lambda_1 = -\theta_0, \lambda_2 = -\lambda_h$$

และ

$$\lambda_3 = \frac{-A_1 + \sqrt{A_1^2 - 4B_1}}{2}$$

จะมีเครื่องหมายเป็นลบ ถ้า $\sqrt{A_1^2 - 4B_1} < A_1$

สัมประสิทธิ์ของสมการลักษณะเฉพาะเป็นบวกและสอดคล้องกับเงื่อนไข Routh-Hurwitz

เมื่อ $n = 2 : A_1 > 0$ และ $B_1 > 0$

นั่นคือ

$$L > N_m$$

$$\gamma(\lambda_h + \gamma_h) \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) > \beta_h \beta_m N_m N_h$$

ดังนั้น จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค $E_0 \left(1, 0, 0, \frac{K + \theta N_h}{\theta_0}\right)$ จะ Local asymptotically stable

(2) จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Disease Endemic Equilibrium : E_1) แทนด้วย $E_1(S_h^*, I_h^*, I_m^*, E^*)$

กำหนดให้ $I_m^* = \frac{R_0 - 1}{R_0 + M}$

จาก $S_h = \frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m N_m I_m}$

แทน I_m ด้วย I_m^*

จะได้ $S_h^* = \frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*}$

จาก $I_h = \frac{\lambda_h N_m \beta_m I_m}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m I_m N_m)}$

แทน I_m ด้วย I_m^*

จะได้ $I_h^* = \frac{\lambda_h N_m \beta_m I_m^*}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)}$

และ $E^* = \frac{K + \theta N_h}{\theta_0}$

นั่นคือ

$$E_1(S_h^*, I_h^*, I_m^*, E^*) = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*}, \frac{\lambda_h N_m \beta_m I_m^*}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)}, I_m^*, \frac{K + \theta N_h}{\theta_0} \right)$$

ความเสถียรของระบบ (Stability of systems) ที่จุด $E_1(S_h^*, I_h^*, I_m^*, E^*)$

หาเมทริกซ์จาโคเบียน

กำหนดให้

$$F_1(S_h, I_h, I_m, E) = \lambda_h - \lambda_h S_h - \beta_m N_m I_m S_h$$

$$F_2(S_h, I_h, I_m, E) = \beta_m N_m I_m S_h - (\lambda_h + \gamma_h) I_h$$

$$F_3(S_h, I_h, I_m, E) = \beta_h N_h (1 - I_m) I_h - \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) I_m$$

$$F_4(S_h, I_h, I_m, E) = K + \theta N_h - \theta_0 E$$

$$\begin{array}{cccc} \frac{\partial F_1}{\partial S_h} = -\lambda_h - \beta_m I_m N_m & \frac{\partial F_1}{\partial I_h} = 0 & \frac{\partial F_1}{\partial I_m} = -\beta_m N_m S_h & \frac{\partial F_1}{\partial E} = 0 \\ \frac{\partial F_2}{\partial S_h} = \beta_m N_m I_m & \frac{\partial F_2}{\partial I_h} = -(\lambda_h + \gamma_h) & \frac{\partial F_2}{\partial I_m} = \beta_m N_m S_h & \frac{\partial F_2}{\partial E} = 0 \\ \frac{\partial F_3}{\partial S_h} = 0 & \frac{\partial F_3}{\partial I_h} = \beta_h (1 - I_m) N_h & \frac{\partial F_3}{\partial I_m} = -\beta_h I_h N_h - \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) & \frac{\partial F_3}{\partial E} = 0 \\ \frac{\partial F_4}{\partial S_h} = 0 & \frac{\partial F_4}{\partial I_h} = 0 & \frac{\partial F_4}{\partial I_m} = 0 & \frac{\partial F_4}{\partial E} = -\theta_0 \end{array}$$

จะได้เมทริกซ์จาโคเบียน

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial S_h} & \frac{\partial F_1}{\partial I_h} & \frac{\partial F_1}{\partial I_m} & \frac{\partial F_1}{\partial E} \\ \frac{\partial F_2}{\partial S_h} & \frac{\partial F_2}{\partial I_h} & \frac{\partial F_2}{\partial I_m} & \frac{\partial F_2}{\partial E} \\ \frac{\partial F_3}{\partial S_h} & \frac{\partial F_3}{\partial I_h} & \frac{\partial F_3}{\partial I_m} & \frac{\partial F_3}{\partial E} \\ \frac{\partial F_4}{\partial S_h} & \frac{\partial F_4}{\partial I_h} & \frac{\partial F_4}{\partial I_m} & \frac{\partial F_4}{\partial E} \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} -\lambda_h - \beta_m N_m I_m^* & 0 & -\beta_m N_m S_h^* & 0 \\ \beta_m N_m I_m^* & -(\lambda_h + \gamma_h) & \beta_m N_m S_h^* & 0 \\ 0 & \beta_h N_h (1 - I_m^*) & -\beta_h N_h I_h^* - \gamma \left(1 - \frac{N_m}{L}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\theta_0 \end{bmatrix}$$

หาค่าลักษณะเฉพาะจาก $|J - \lambda I| = 0$

$$J - \lambda I = \begin{bmatrix} -\lambda_h - \beta_m N_m I_m^* - \lambda & 0 & -\beta_m N_m S_h^* & 0 \\ \beta_m N_m I_m^* & -(\lambda_h + \gamma_h) - \lambda & \beta_m N_m S_h^* & 0 \\ 0 & \beta_h N_h (1 - I_m^*) & -\beta_h N_h I_h^* - \gamma(1 - \frac{N_m}{L}) - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\theta_0 - \lambda \end{bmatrix}$$

หาสมการลักษณะเฉพาะที่จุด E_1 โดยให้

$$\det(J - \lambda I) = 0$$

เมื่อ λ เป็นค่าลักษณะเฉพาะและ I เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 4×4

หาค่าลักษณะเฉพาะ ที่จุด $E_1 = (S_h^*, I_h^*, I_m^*, E^*)$

$$E_1(S_h^*, I_h^*, I_m^*, E^*) = \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*}, \frac{\lambda_h N_m \beta_m I_m^*}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)}, I_m^*, \frac{K + \theta N_h}{\theta_0} \right)$$

$$|J - \lambda I| = \begin{vmatrix} -\lambda_h - \beta_m N_m I_m^* - \lambda & 0 & -\beta_m N_m S_h^* & 0 \\ \beta_m N_m I_m^* & -(\lambda_h + \gamma_h) - \lambda & \beta_m N_m S_h^* & 0 \\ 0 & \beta_h N_h (1 - I_m^*) & -\beta_h N_h I_h^* - \gamma(1 - \frac{N_m}{L}) - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\theta_0 - \lambda \end{vmatrix}$$

สมการลักษณะเฉพาะที่ได้

$$(\lambda + \theta_0)(\lambda^3 + C_1 \lambda^2 + C_2 \lambda + C_3) = 0$$

$$\text{จะได้ } \lambda_1 = -\theta_0, \quad \text{และ } \lambda^3 + C_1 \lambda^2 + C_2 \lambda + C_3 = 0$$

เมื่อ

$$C_1 = \gamma(1 - \frac{N_m}{L}) + 2\lambda_h + \gamma_h + \beta_m N_m I_m^* + \beta_h N_h I_m^*$$

$$C_2 = (2\lambda_h + \gamma_h + \beta_m N_m I_m^*) \left(\gamma(1 - \frac{N_m}{L}) + \beta_h N_h I_h^* \right) + (\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*) - (\beta_h \beta_m N_h N_m S_h^*)(1 - I_m^*)$$

$$C_3 = (\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*) \left(\gamma(1 - \frac{N_m}{L}) + \beta_h N_h I_h^* \right) - (\beta_h \beta_m N_h N_m S_h^*)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)(1 - I_m^*) + (\beta_h N_h (\beta_m N_m)^2 S_h^* I_h^*)(1 - I_m^*)$$

สัมประสิทธิ์ของสมการลักษณะเฉพาะเป็นบวกและสอดคล้องกับเงื่อนไข Routh-Hurwitz

เมื่อ $n = 3 : C_1 > 0 \quad C_3 > 0 \quad \text{และ} \quad C_1 C_2 > C_3$

นั่นคือ

$$\gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) + 2\lambda_h + \gamma_h + \beta_m N_m I_m^* + \beta_h N_h I_h^* > 0$$

$$(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)\left(\gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) + \beta_h N_h I_h^*\right) - (\beta_h \beta_m N_h N_m S_h^*)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)(1 - I_m^*) + (\beta_h N_h (\beta_m N_m)^2 S_h^* I_m^*)(1 - I_m^*) > 0$$

และ

$$\left(\begin{array}{l} \gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) + 2\lambda_h + \gamma_h \\ + \beta_m N_m I_m^* + \beta_h N_h I_h^* \end{array} \right) \left(\begin{array}{l} (2\lambda_h + \gamma_h + \beta_m N_m I_m^*)\left(\gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) + \beta_h N_h I_h^*\right) + \\ (\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*) - (\beta_h \beta_m N_h N_m S_h^*)(1 - I_m^*) \end{array} \right) > \left(\begin{array}{l} (\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)\left(\gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) + \beta_h N_h I_h^*\right) \\ - (\beta_h \beta_m N_h N_m S_h^*)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)(1 - I_m^*) \\ + (\beta_h N_h (\beta_m N_m)^2 S_h^* I_m^*)(1 - I_m^*) \end{array} \right)$$

ดังนั้น จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค $E_1 \left(\frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*}, \frac{\lambda_h N_m \beta_m I_m^*}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)}, I_m^*, \frac{K + \theta N_h}{\theta_0} \right)$

จะ Local asymptotically stable

(3) การหาค่าระดับการติดเชื้อ (Basic Reproductive Number: \mathfrak{R}_0)

หาค่าระดับการติดเชื้อ (\mathfrak{R}_0) จัดสมการ (7), (8), (9), (10) ให้อยู่ในรูปเมทริกซ์

$$\frac{dx}{dt} = F(x) - V(x)$$

$$F(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ \beta_m N_m I_m S_h \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad V(x) = \begin{bmatrix} \lambda_h S_h - \lambda_h + \beta_m N_m I_m S_h \\ (\lambda_h + \gamma_h) I_h \\ \gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) I_m - \beta_h N_h (1 - I_m) I_h \\ \theta_0 E - K - \theta N_h \end{bmatrix}$$

หาเมทริกซ์จาโคเบียนของ $F(x)$ และ $V(x)$ ซึ่งให้ $DF(x) = F$ และ $DV(x) = V$ จะได้ดังนี้

$$DF(x) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial}{\partial S_h}(\beta_m N_m I_m S_h) & \frac{\partial}{\partial I_h}(\beta_m N_m I_m S_h) & \frac{\partial}{\partial I_m}(\beta_m N_m I_m S_h) & \frac{\partial}{\partial E}(\beta_m N_m I_m S_h) \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \beta_m N_m I_m & 0 & \beta_m N_m S_h & 0 \\ 0 & \beta_h N_h (1 - I_m) & -\beta_h N_h I_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$DV(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial S_h}(\lambda_n(1-S_h) + \beta_m N_m I_m S_h) & \frac{\partial}{\partial I_h}(\lambda_n(1-S_h) + \beta_m N_m I_m S_h) & \frac{\partial}{\partial I_m}(\lambda_n(1-S_h) + \beta_m N_m I_m S_h) & \frac{\partial}{\partial E}(\lambda_n(1-S_h) + \beta_m N_m I_m S_h) \\ \frac{\partial}{\partial S_h}((\lambda_n + \gamma_h)I_h) & \frac{\partial}{\partial I_h}((\lambda_n + \gamma_h)I_h) & \frac{\partial}{\partial I_m}((\lambda_n + \gamma_h)I_h) & \frac{\partial}{\partial E}((\lambda_n + \gamma_h)I_h) \\ \frac{\partial}{\partial S_h}\left(\gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right)I_m + \beta_h N_h(1-I_m)I_h\right) & \frac{\partial}{\partial I_h}\left(\gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right)I_m + \beta_h N_h(1-I_m)I_h\right) & \frac{\partial}{\partial I_m}\left(\gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right)I_m + \beta_h N_h(1-I_m)I_h\right) & \frac{\partial}{\partial E}\left(\gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right)I_m + \beta_h N_h(1-I_m)I_h\right) \\ \frac{\partial}{\partial S_h}(\theta_0 E - K - \theta N_h) & \frac{\partial}{\partial I_h}(\theta_0 E - K - \theta N_h) & \frac{\partial}{\partial I_m}(\theta_0 E - K - \theta N_h) & \frac{\partial}{\partial E}(\theta_0 E - K - \theta N_h) \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} -\lambda_n & 0 & \beta_m N_m & 0 \\ 0 & \lambda_n + \gamma_h & 0 & 0 \\ 0 & \beta_h N_h & \gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \theta_0 \end{bmatrix}$$

หามเมทริกซ์จาโคเบียนของ F และ V ที่จุด $E_0(S_h, I_h, I_m, E) = \left(1, 0, 0, \frac{K + \theta N_h}{\theta_0}\right)$

จะได้ดังนี้

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_m N_m & 0 \\ 0 & \beta_h N_h & -\beta_h N_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} -\lambda_n & 0 & \beta_h N_h & 0 \\ 0 & \lambda_n + \gamma_h & 0 & 0 \\ 0 & \beta_h N_h & \gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \theta_0 \end{bmatrix}$$

คำนวณหามเมทริกซ์ FV^{-1} โดยที่ V^{-1} หาได้จาก $V^{-1} = \frac{1}{\det(V)} \text{adj}(V)$

จาก

$$V = \begin{bmatrix} -\lambda_n & 0 & \beta_h N_h & 0 \\ 0 & \lambda_n + \gamma_h & 0 & 0 \\ 0 & \beta_h N_h & \gamma\left(1 - \frac{N_m}{L}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \theta_0 \end{bmatrix}$$

จะได้ $\det(V) = -\lambda_n \theta_0 \gamma (\lambda_n + \gamma_h) \left(1 - \frac{N_m}{L}\right)$

และ

$$adj(V) = \begin{bmatrix} \theta_0(\lambda_h + \gamma_h)\gamma(1 - \frac{N_m}{L}) & -\theta_0\beta_h N_h \beta_h N_h & \theta_0(\lambda_h + \gamma_h)\beta_h N_h & 0 \\ 0 & -\lambda_h \theta_0 \gamma(1 - \frac{N_m}{L}) & 0 & 0 \\ 0 & \theta_0 \lambda_h \beta_h N_h & \theta_0 \lambda_h (\lambda_h + \gamma_h) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_h (\lambda_h + \gamma_h)\gamma(1 - \frac{N_m}{L}) \end{bmatrix}$$

จะได้ $V^{-1} = \frac{1}{\det(V)} adj(V)$

$$V^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_h} & \frac{(\beta_h N_h)^2}{\lambda_h \gamma(1 - \frac{N_m}{L})(\lambda_h + \gamma_h)} & \frac{\beta_h N_h}{\lambda_h \gamma(1 - \frac{N_m}{L})} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\lambda_h + \gamma_h} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\beta_h N_h}{\gamma(1 - \frac{N_m}{L})(\lambda_h + \gamma_h)} & \frac{1}{-\gamma(1 - \frac{N_m}{L})} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\theta_0} \end{bmatrix}$$

และหาค่า FV^{-1} จะได้

$$FV^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\beta_h N_h \beta_m N_m}{\gamma(1 - \frac{N_m}{L})(\lambda_h + \gamma_h)} & -\frac{\beta_m N_h}{\gamma(1 - \frac{N_m}{L})} & 0 \\ 0 & \frac{\beta_h N_m}{\lambda_h + \gamma_h} + \frac{(\beta_h N_h)^2}{\gamma(1 - \frac{N_m}{L})(\lambda_h + \gamma_h)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

คำนวณหา Spectral radius ของ FV^{-1} เขียนแทนด้วย $\rho(FV^{-1})$

จะได้ $\rho(FV^{-1})$ ดังนี้

$$\rho(FV^{-1}) = \begin{bmatrix} -\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\beta_h N_h \beta_m N_m}{\gamma(\lambda_h + \gamma_h)(1 - \frac{N_m}{L})} - \lambda & -\frac{\beta_m N_h}{\gamma(1 - \frac{N_m}{L})} & 0 \\ 0 & \frac{\beta_h N_m}{\lambda_h + \gamma_h} + \frac{(\beta_h N_h)^2}{\gamma(1 - \frac{N_m}{L})(\lambda_h + \gamma_h)} & -\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda \end{bmatrix}$$

จากทฤษฎี Spectral radius ของ FV^{-1} ที่ได้ คือ

$$\rho(FV^{-1}) = \frac{\beta_m \beta_h N_m N_h}{\gamma(\lambda_h + \gamma_h)(1 - \frac{N_m}{L})}$$

และหาค่าระดับการติดเชื้อ (\mathcal{R}_0) ได้จาก $\rho(FV^{-1})$

ดังนั้น

$$\rho(FV^{-1}) = \frac{\beta_m \beta_h N_m N_h}{\gamma(\lambda_h + \gamma_h)(1 - \frac{N_m}{L})}$$

นั่นคือ

$$\mathcal{R}_0 = \sqrt{\frac{\beta_m \beta_h N_m N_h}{\gamma(1 - \frac{N_m}{L})(\mu_h + \gamma_h)}}$$

4) ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการศึกษาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยการหาคำตอบเชิงตัวเลขของระบบสมการอนุพันธ์ที่แสดงการแพร่ระบาดของของโรคไข้เลือดออกที่มีผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free Equilibrium) เป็น Local asymptotically stable และ จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic Disease Equilibrium) สำหรับแต่ละชุดของค่าพารามิเตอร์ จะตรวจสอบเสถียรภาพของจุดสมดุลว่าเป็น Local asymptotically stable โดยการหาค่าลักษณะเฉพาะของเมทริกซ์จาโคเบียน และตรวจสอบว่าสอดคล้องกับเงื่อนไขของ Routh – Hurwitz

จากระบบสมการที่ลดทอน

$$\frac{dS_h}{dt} = \lambda_h - \beta_m N_m I_m S_h - \lambda_h S_h \quad (13)$$

$$\frac{dI_h}{dt} = \beta_m I_m N_m S_h - (\lambda_h + \gamma_h) I_h \quad (14)$$

$$\frac{dI_m}{dt} = \beta_h (1 - I_m) I_h N_h - \gamma (1 - \frac{N_m}{L}) I_m \quad (15)$$

$$\frac{dE}{dt} = K + \theta N_h - \theta_0 E \quad (16)$$

จากระบบสมการ (13) - (16) จะได้

$$S_h = \frac{\lambda_h}{\lambda_h + \beta_m I_m N_m}$$

$$I_h = \frac{\lambda_h \beta_m N_m I_m}{(\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m I_m N_m)}$$

$$I_m = 0 \text{ หรือ } I_m = \frac{R_0 - 1}{R_0 + M}$$

$$E = \frac{K + \theta N_h}{\theta_0}$$

4.1) เสถียรภาพของจุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Stability of Disease Free State)

ตารางที่ 4.22 ค่าพารามิเตอร์ของจุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free State)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
N_h	1,000 คน	[11]
N_m	7,000 ตัว	
λ_h	0.000042 (ต่อ 1 วัน)	
β_m	0.0003	
β_h	0.0001	
γ_h	8.5 (ต่อ 1 วัน)	
γ	0.6 (ต่อ 1 วัน)	
L	10,000	
K	2	
θ	0.0002	
θ_0	0.0001	

พิจารณาสมการลักษณะเฉพาะและหาค่าลักษณะเฉพาะ จะได้

$$\lambda_1 = -\theta_0, \quad \lambda_2 = -\lambda_h$$

$$\lambda_3 = \frac{-A_1 + \sqrt{A_1^2 - 4B_1}}{2}, \quad \lambda_4 = \frac{-A_1 - \sqrt{A_1^2 - 4B_1}}{2}$$

$$R_0 = \frac{\beta_m \beta_h N_m N_h}{\gamma(\lambda_h + \gamma_h)(1 - \frac{N_m}{L})}, \quad \mathfrak{R}_0 = \sqrt{\frac{\beta_m \beta_h N_m N_h}{\gamma(\lambda_h + \gamma_h)(1 - \frac{N_m}{L})}}$$

เมื่อ

$$A = \lambda_h + \gamma_h + \gamma(1 - \frac{N_m}{L}) \text{ และ } B = (\lambda_h + \gamma_h)\gamma(1 - \frac{N_m}{L}) - \beta_h \beta_m N_m N_h$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 4.22 จะได้

$$\lambda_1 = -0.0001, \lambda_2 = -0.000042, \lambda_3 = -0.154836, \lambda_4 = -8.52521$$

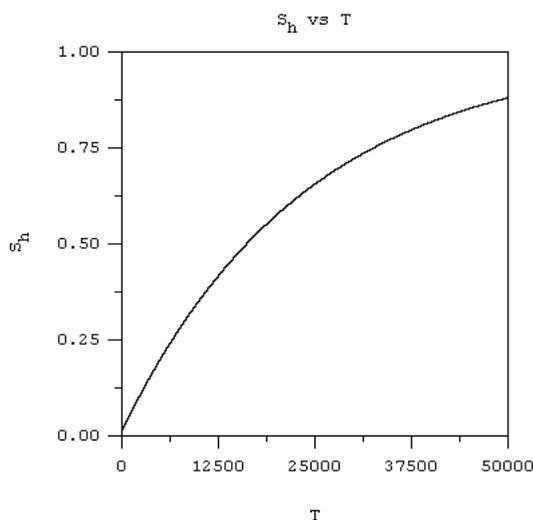
$$R_0 = 0.137254$$

สัมประสิทธิ์ของสมการลักษณะเฉพาะเป็นบวกและสอดคล้องกับเงื่อนไข Routh – Hurwitz เมื่อ $n = 2$: $A > 0$ และ $B > 0$

เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของระบบ ณ จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free Equilibrium) จะพบว่าค่าลักษณะเฉพาะทุกค่ามีส่วนจริงเป็นลบ และสอดคล้องกับเงื่อนไขของ Routh – Hurwitz ดังนั้น คำตอบจะเข้าสู่จุด $E_0(1, 0, 0, 22000)$

นั่นคือ จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค $E_0(1, 0, 0, 22000)$ จะเป็น Local asymptotically stable

(1) กราฟของจุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free State)

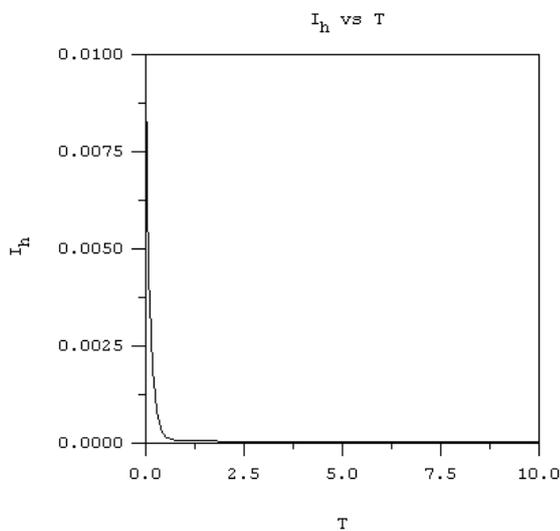


ภาพที่ 4.3 กราฟคำตอบเชิงตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มคนที่ไวต่อโรค (S_h) เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $N_h = 1000$, $N_m = 7000$, $\lambda_h = 0.000042$, $\beta_m = 0.0003$, $\beta_h = 0.0001$, $\gamma_h = 8.5$, $\gamma = 0.6$, $L = 1000$, $K = 2$, $\theta = 0.0002$, $\theta_0 = 0.0001$

เมื่อ S_h หน่วยเป็นคน และ T หน่วยเป็นวัน และ $\mathcal{R}_0 < 1$

จำนวนของกลุ่มคนที่ไวต่อโรคเข้าสู่จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free Equilibrium)

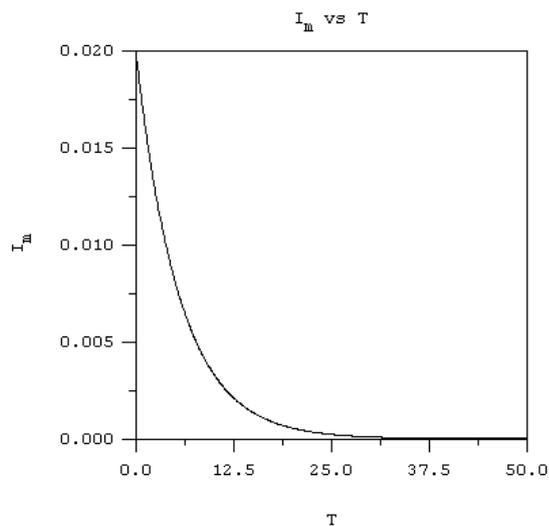


ภาพที่ 4.4 กราฟคำตอบเชิงตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มคนที่ติดโรค (I_h)
เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $N_h = 1000$, $N_m = 7000$, $\lambda_h = 0.000042$, $\beta_m = 0.0003$, $\beta_h = 0.0001$, $\gamma_h = 8.5$,
 $\gamma = 0.6$, $L = 1000$, $K = 2$, $\theta = 0.0002$, $\theta_0 = 0.0001$

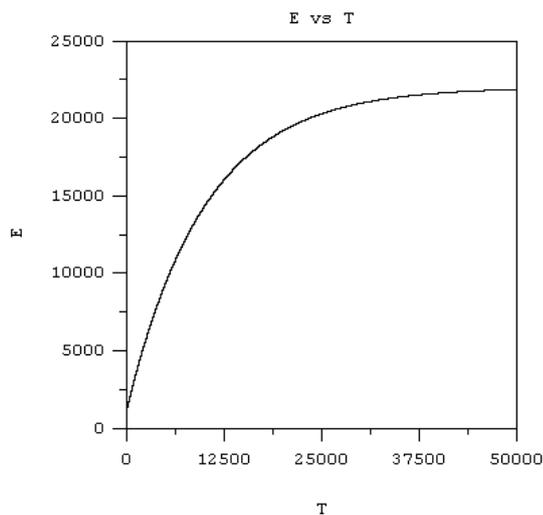
เมื่อ I_h หน่วยเป็นคน และ T หน่วยเป็นวัน และ $\mathcal{R}_0 < 1$

จำนวนของกลุ่มคนที่ติดโรคเข้าสู่จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free Equilibrium)



ภาพที่ 4.5 กราฟคำตอบเชิงตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มยุงที่ติดโรค (I_m) เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $N_h = 1000$, $N_m = 7000$, $\lambda_h = 0.000042$, $\beta_m = 0.0003$, $\beta_h = 0.0001$, $\gamma_h = 8.5$,
 $\gamma = 0.6$, $L = 1000$, $K = 2$, $\theta = 0.0002$, $\theta_0 = 0.0001$
 เมื่อ I_m หน่วยเป็นตั้ และ T หน่วยเป็นวัน และ $\mathcal{R}_0 < 1$
 จำนวนของกลุ่มยุงที่ติดโรคเข้าสู่จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free Equilibrium)



ภาพที่ 4.6 กราฟคำตอบเชิงตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ที่มีผลกระทบจากปัจจัย
สิ่งแวดล้อม (E) เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $N_h = 1000$, $N_m = 7000$, $\lambda_h = 0.000042$, $\beta_m = 0.0003$, $\beta_h = 0.0001$, $\gamma_h = 8.5$,
 $\gamma = 0.6$, $L = 1000$, $K = 2$, $\theta = 0.0002$, $\theta_0 = 0.0001$ และ $\mathcal{R}_0 < 1$
 ผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมเข้าสู่จุดสมดุลที่ไม่มีเชื้อโรค (Disease Free Equilibrium)

4.2) เสถียรภาพของจุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Stability of Endemic State) เมื่อพิจารณา
ค่าพารามิเตอร์ K (อัตราการเพิ่มสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเติบโตขึ้นของยุง)

พิจารณาพารามิเตอร์ K เมื่อ $K = 17$

ตารางที่ 4.23 ค่าพารามิเตอร์ของจุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic State)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
N_h	1,000 คน	[11]
N_m	7,000 ตัว	
λ_h	0.000042 (ต่อ 1 วัน)	
β_m	0.0003	
β_h	0.0001	
γ_h	8.5 (ต่อ 1 วัน)	
γ	0.6 (ต่อ 1 วัน)	
L	1,000	
δ	0.000001	
K	17	
θ	0.0002	
θ_0	0.0001	

พิจารณาสมการลักษณะเฉพาะและหาค่าลักษณะเฉพาะ จะได้

$$\lambda_1 = -\theta_0$$

$$\lambda^3 + C_1\lambda^2 + C_2\lambda + C_3 = 0$$

$$R_0 = \frac{\beta_m\beta_h N_m N_h}{(\lambda_h + \gamma_h)\gamma(1 - \frac{N_m}{L})}$$

$$\mathfrak{R}_0 = \sqrt{\frac{\beta_m\beta_h N_m N_h}{(\lambda_h + \gamma_h)\gamma(1 - \frac{N_m}{L})}}$$

เมื่อ

$$C_1 = \beta_m N_m I_m^* + 2\lambda_h + \gamma_h + \beta_h N_h I_h^* + \gamma(1 - \frac{N_m}{L})$$

$$C_2 = (2\lambda_h + \gamma_h + \beta_m N_m I_m^*)\left(\gamma(1 - \frac{N_m}{L}) + \beta_h N_h I_h^*\right) + (\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*) - \beta_h \beta_m N_h N_m S_h^*(1 - I_m^*)$$

$$C_3 = (\lambda_h + \gamma_h)(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)\left(\gamma(1 - \frac{N_m}{L}) + \beta_h N_h I_h^*\right) - \beta_h \beta_m N_h N_m S_h^*(\lambda_h + \beta_m N_m I_m^*)(1 - I_m^*) + \beta_h N_h (\beta_m N_m)^2 S_h^* I_h^*(1 - I_m^*)$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 4.16 จะได้

$$\lambda_1 = -0.0001, \lambda_2 = -0.109862, \lambda_3 = -8.50004, \lambda_4 = -0.000241$$

$$R_0 = 2.24598$$

สัมประสิทธิ์ของสมการลักษณะเฉพาะเป็นบวกและสอดคล้องกับเงื่อนไข Routh–Hurwitz

เมื่อ $n = 3 : C_1 > 0, C_3 > 0$ และ $C_1 C_2 > C_3$

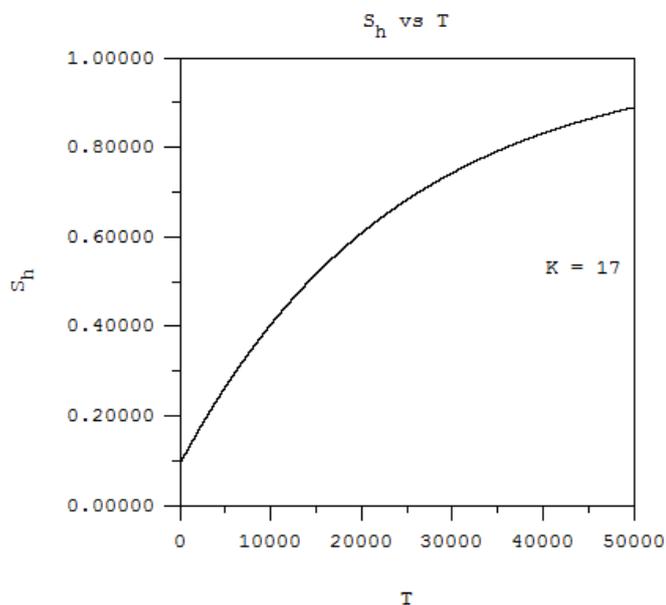
พิจารณาเสถียรภาพของระบบ ณ จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic Equilibrium Point) จะพบว่าค่าลักษณะเฉพาะทุกค่ามีส่วนจริงเป็นลบ ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขของ Routh – Hurwitz ดังนั้นคำตอบจะลู่เข้าสู่จุด $E_1 (0.445251, 0.000003, 0.000025, 190000)$

นั่นคือ

จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค $E_1 (0.445251, 0.000003, 0.000025, 190000)$

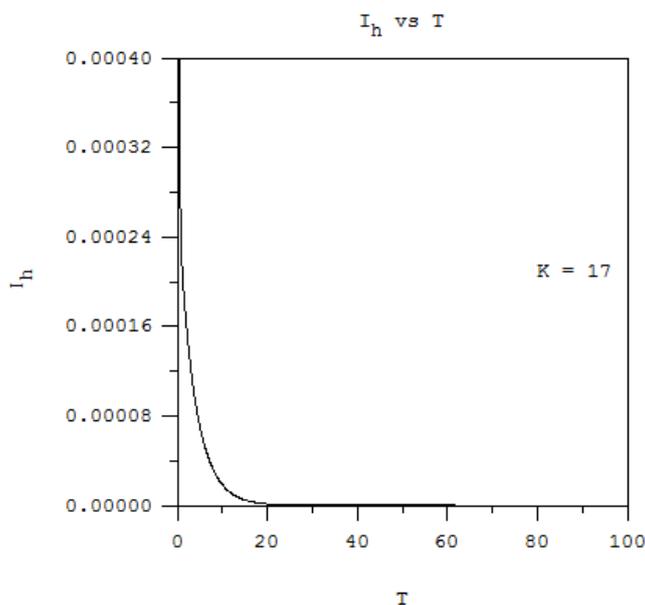
จะเป็น Local asymptotically stable

กราฟของจุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic State)



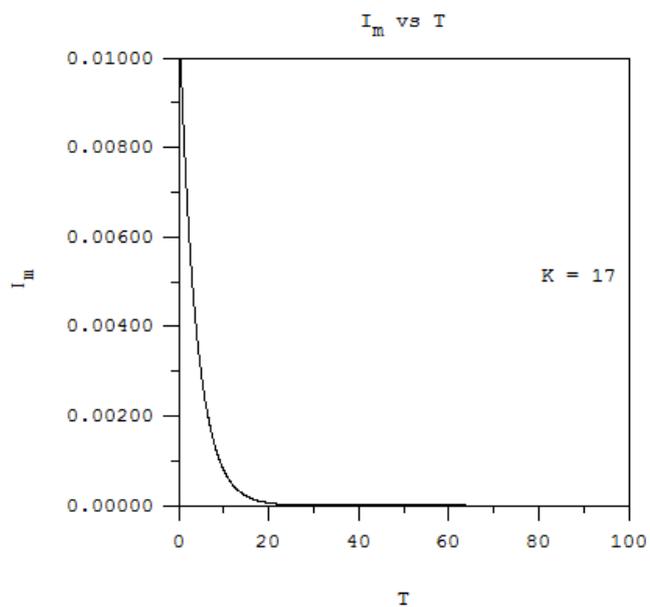
ภาพที่ 4.7 กราฟคำตอบเชิงตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มคนที่ไวต่อโรค (S_h) เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $N_h = 10000$, $N_m = 7000$, $\lambda_h = 0.000042$, $\beta_m = 0.0003$,
 $\beta_h = 0.0001$, $\gamma_h = 8.5$, $\gamma = 0.6$, $\gamma_0 = 0.3$, $L = 1000$,
 $\delta = 0.000001$, $K = 17$, $\theta = 0.0002$,
 $\theta_0 = 0.0001$ เมื่อ S_h หน่วยเป็นคน และ T หน่วยเป็นวัน กรณี $\mathcal{R}_0 > 1$
 จำนวนของกลุ่มคนที่ไวต่อโรคเข้าสู่จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic Equilibrium)



ภาพที่ 4.8 กราฟคำตอบเชิงตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มคนที่ติดโรค (I_h)
 เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $N_h = 10000$, $N_m = 7000$, $\lambda_h = 0.000042$, $\beta_m = 0.0003$,
 $\beta_h = 0.0001$, $\gamma_h = 8.5$, $\gamma = 0.6$, $\gamma_0 = 0.3$, $L = 1000$,
 $\delta = 0.000001$, $K = 17$, $\theta = 0.0002$, $\theta_0 = 0.0001$
 เมื่อ I_h หน่วยเป็นคน และ T หน่วยเป็นวัน และ $\mathcal{R}_0 > 1$
 จำนวนของกลุ่มคนที่ติดโรคเข้าสู่จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic Equilibrium)

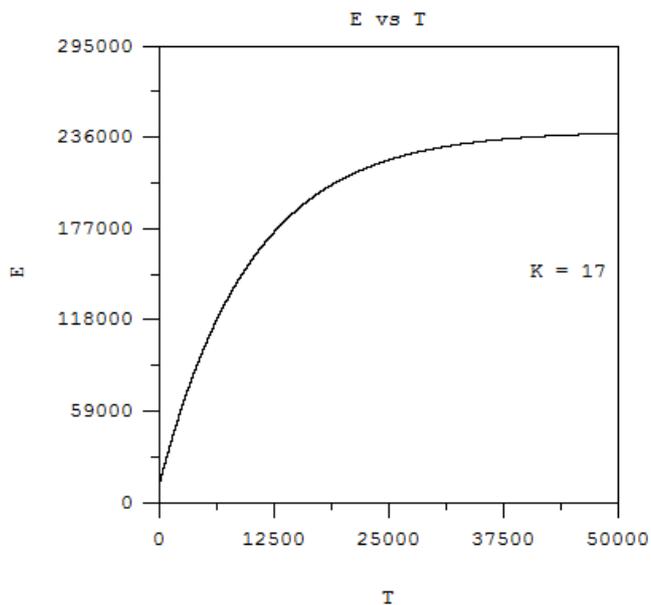


ภาพที่ 4.9 กราฟคำตอบเชิงตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มยุงที่ติดโรค (I_m) เทียบกับเวลา (T)

เมื่อ $N_h = 10000$, $N_m = 7000$, $\lambda_h = 0.000042$, $\beta_m = 0.0003$,
 $\beta_h = 0.0001$, $\gamma_h = 8.5$, $\gamma = 0.6$, $\gamma_0 = 0.3$, $L = 1000$,
 $\delta = 0.000001$, $K = 17$, $\theta = 0.0002$, $\theta_0 = 0.0001$

เมื่อ I_m หน่วยเป็นตัว และ T หน่วยเป็นวัน และ $\mathcal{R}_0 > 1$

จำนวนของกลุ่มยุงที่ติดโรคเข้าสู่จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic Equilibrium)

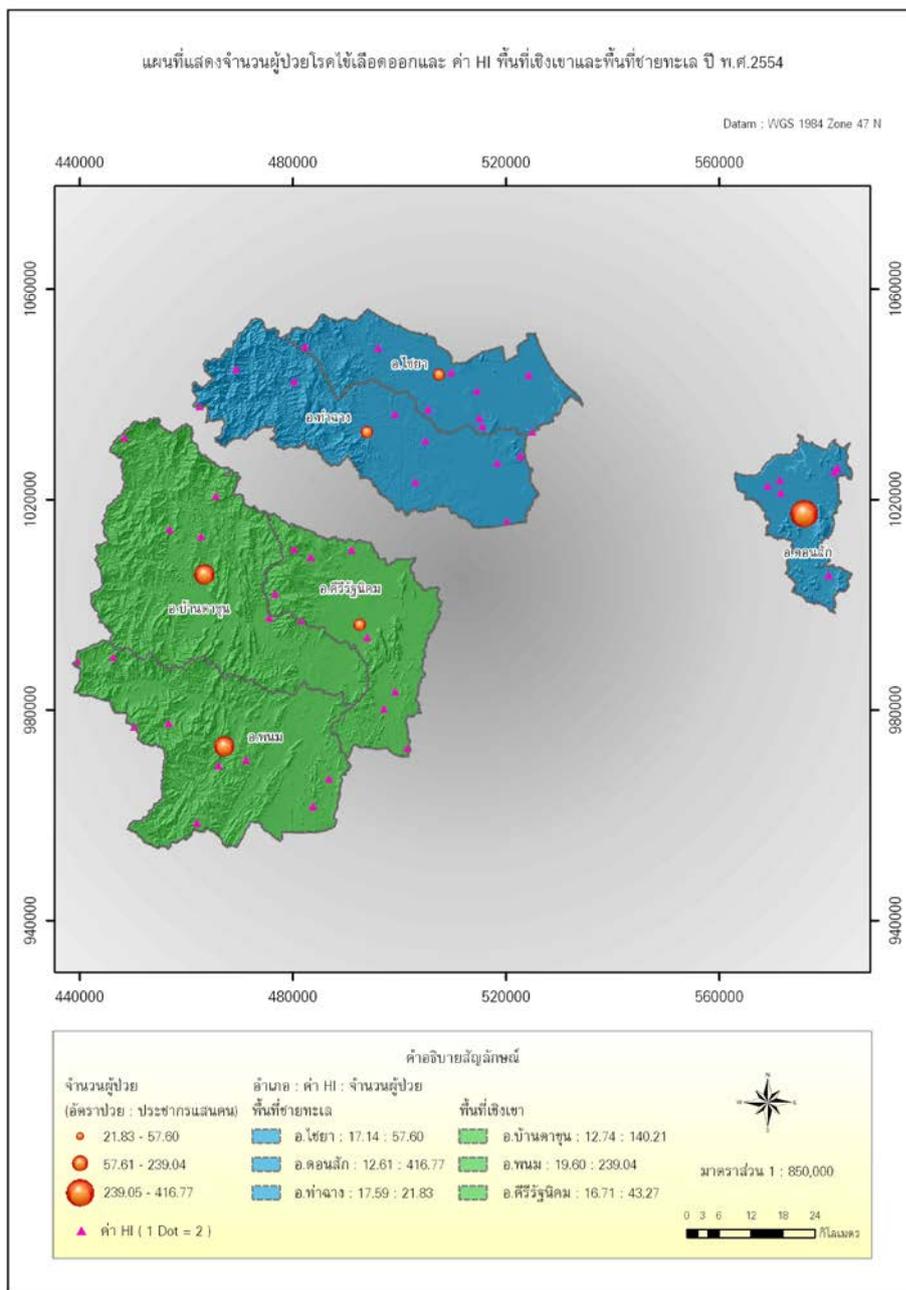


ภาพที่ 4.10 กราฟคำตอบเชิงตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ที่มีผลกระทบจากปัจจัย
สิ่งแวดล้อม (E) เทียบกับเวลา (T)

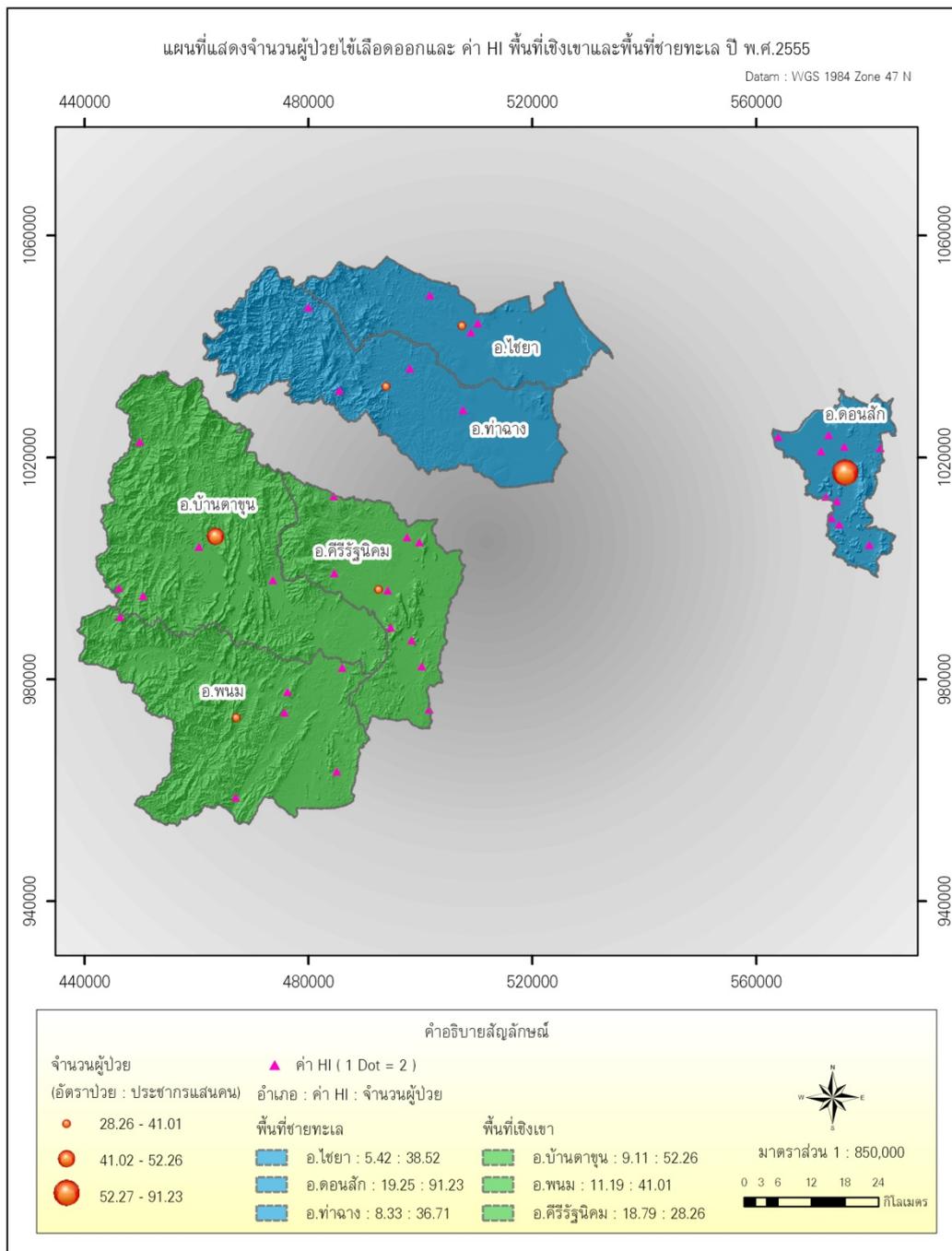
เมื่อ $N_h = 10000$, $N_m = 7000$, $\lambda_h = 0.000042$, $\beta_m = 0.0003$,
 $\beta_h = 0.0001$, $\gamma_h = 8.5$, $\gamma = 0.6$, $\gamma_0 = 0.3$, $L = 1000$, $K = 17$, $\theta = 0.0002$,
 $\theta_0 = 0.0001$ และ $\mathfrak{R}_0 > 1$

ผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมเข้าสู่จุดสมดุลที่มีเชื้อโรค (Endemic Equilibrium)

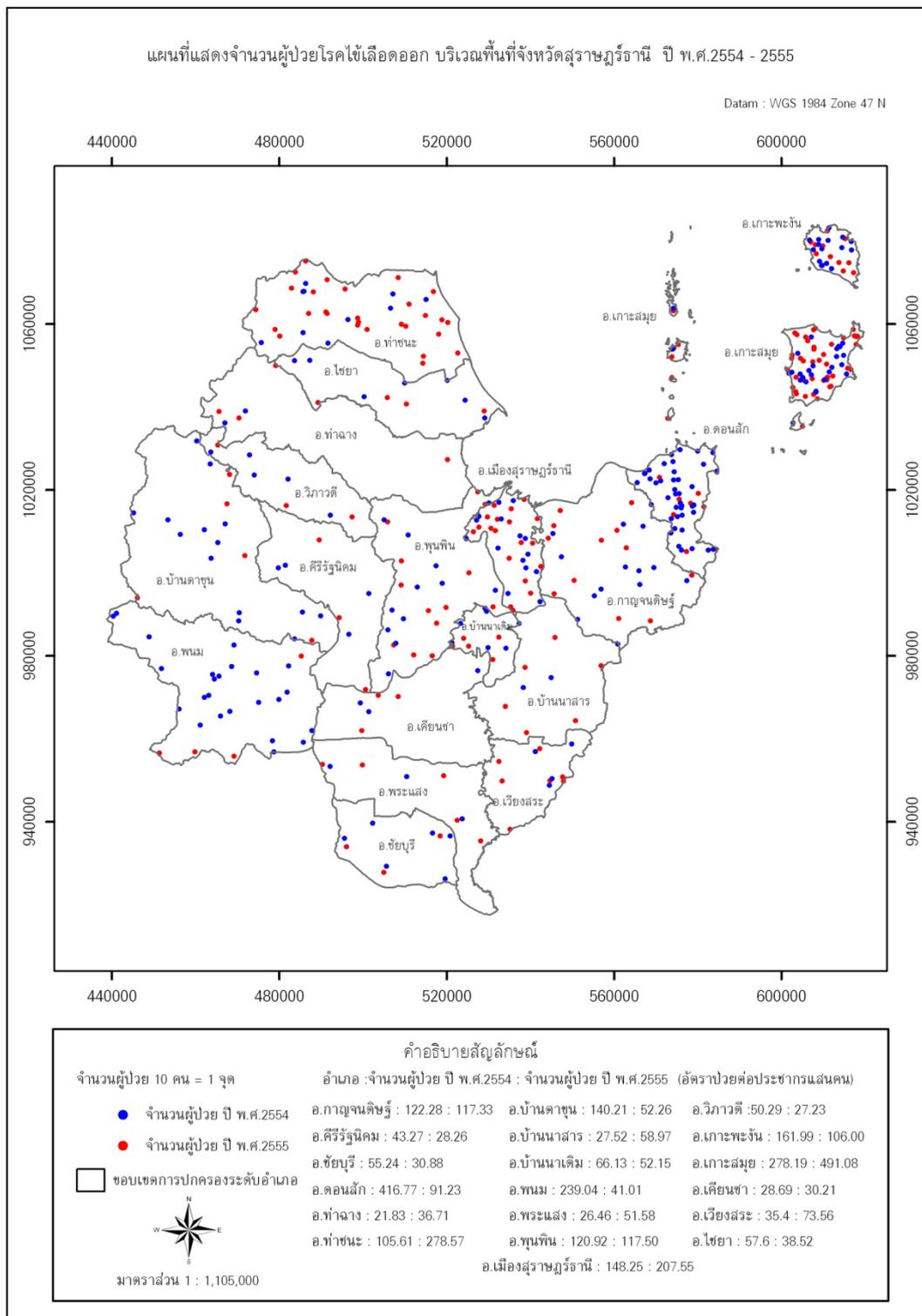
4.4 กิจกรรมที่ 4 ผลการสร้างแผนที่การระบาดเชิงพื้นที่ที่ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์



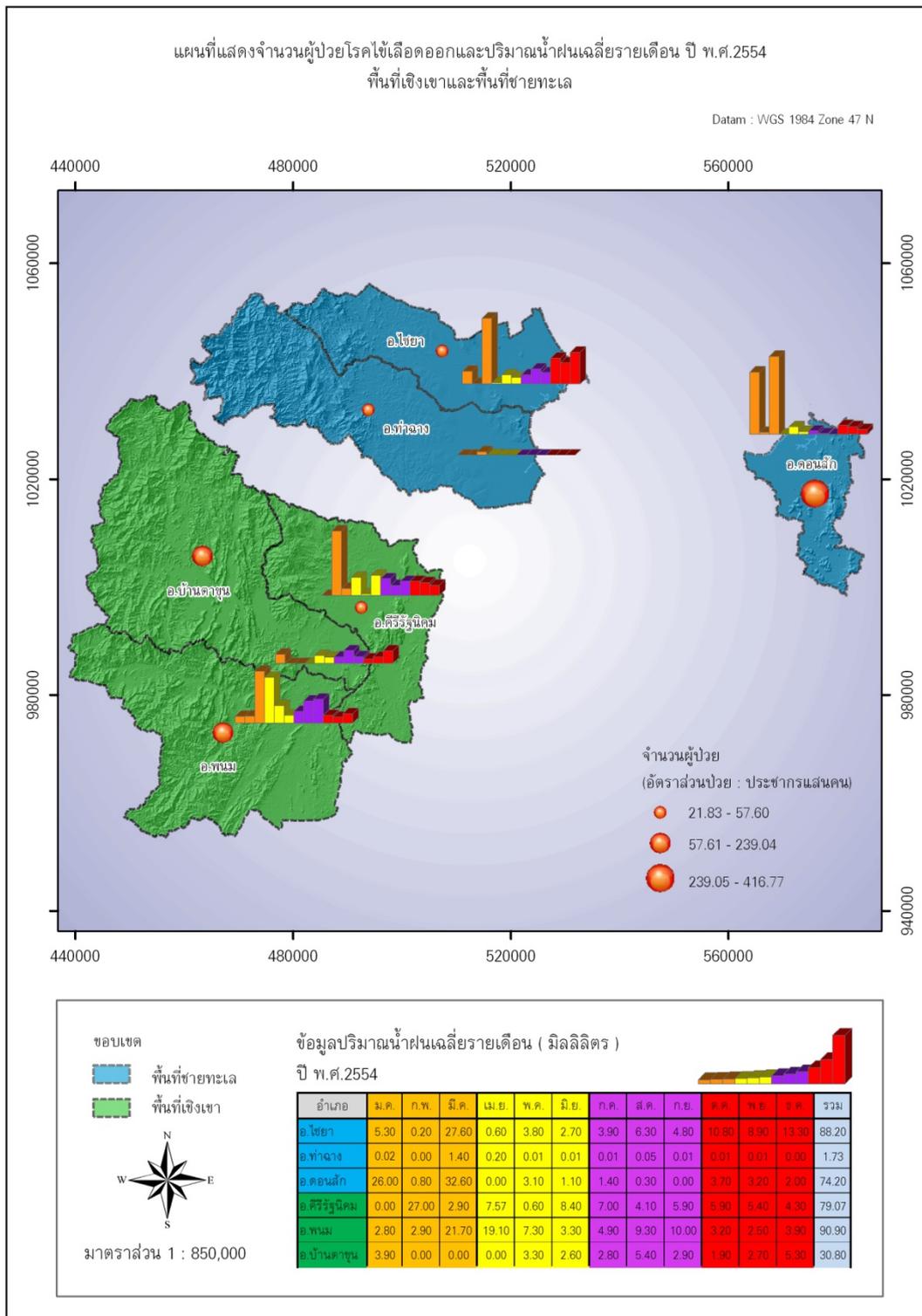
ภาพที่ 4.39 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกและค่า H.I. พื้นที่เชิงเขา และพื้นที่ชายทะเลปี พ. ศ. 2554



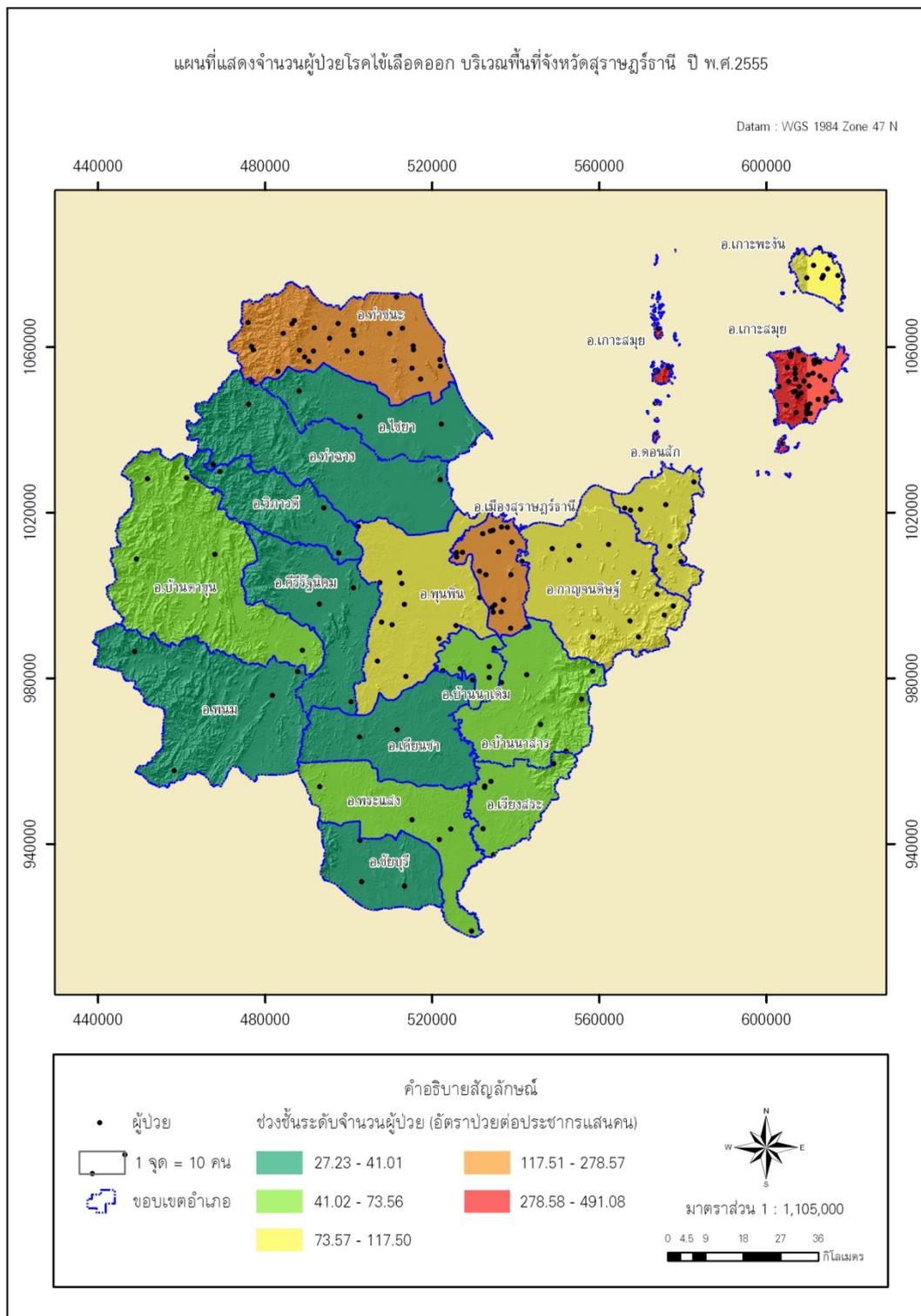
ภาพที่ 4.11 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกและค่า H.I. พื้นที่เชิงเขา และพื้นที่ชายทะเลปี พ. ศ. 2555



ภาพที่ 4.12 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกบริเวณพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี พ.ศ. 2554 - 2556



ภาพที่ 4.13 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ. 2554



ภาพที่ 4.15 แผนที่แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออก บริเวณพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี พ.ศ. 2555