



การวิเคราะห์ปัจจัยของดินบางประการต่อการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอสด้วยระบบสารสนเทศ
ภูมิศาสตร์บริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก

ASSESSMENT OF SOIL PROPERTIES INFLUENCING CHLORPYRIFOS
CONTAMINATION USING GEOINFORMATICS IN MARIAN PLUM FARM (*BOUEA*
BURMANACA GRIFF.): A CASE STUDY OF MUEANG NAKHON NAYOK DISTRICT,

กิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การวิเคราะห์ปัจจัยของดินบางประการต่อการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอสด้วยระบบสารสนเทศ
ภูมิศาสตร์บริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ASSESSMENT OF SOIL PROPERTIES INFLUENCING CHLORPYRIFOS
CONTAMINATION USING GEOINFORMATICS IN MARIAN PLUM FARM (*BOUEA
BURMANACA* GRIFF.): A CASE STUDY OF MUEANG NAKHON NAYOK DISTRICT,
NAKHON NAYOK PROVINCE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Geoinformatics)

Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ปัจจัยของดินบางประการต่อการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
บริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก

ของ

กิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(อาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาส) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมพร วงศ์วิริยะ)

..... ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร มนต์ประภัสสร) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ เมฆแสงสวย)

ชื่อเรื่อง	การวิเคราะห์ปัจจัยของดินบางประการต่อการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก
ผู้วิจัย	กิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ชีรเวทย์ ลิ้มโกลลวิลาส
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สถาพร มนต์ประภัสสร

การใช้สารเคมีในภาคการเกษตรเพื่อกำจัดศัตรูพืชก่อให้เกิดการปนเปื้อนในผลผลิตทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยทางกายภาพของดินที่มีผลต่อการสะสมตัวของสารคลอโรไพริฟอสในดินบริเวณพื้นที่ปลูกมะยงชิด วิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นและกระบวนการวิเคราะห์ลำดับขั้นแบบคลุมเครือ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความสำคัญของปัจจัยตามกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นปัจจัยเนื้อดินมีค่าคะแนนสูงสุด คือ 0.362 รองลงมาคือปัจจัยปฏิกิริยาดิน(0.240) อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน(0.138) ความลึกของดิน(0.130) ความลาดชัน(0.081) ดัชนีความชื้นของภูมิภาค(0.048) ตามลำดับ ส่วนค่าความสำคัญของปัจจัยตามกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ ปัจจัยเนื้อดินมีค่าคะแนนสูงสุด คือ 0.194 รองลงมาคือ ปัจจัยปฏิกิริยาดิน(0.181) ความลึกของดิน(0.165) อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน(0.162) ความลาดชัน(0.155) ดัชนีความชื้นของภูมิภาค(0.142) ตามลำดับ อำเภอเมืองนครนายกมีพื้นที่ปลูกมะยงชิด 3,380.83 ไร่ พื้นที่เสี่ยงการปนเปื้อนด้วยการซัอนทับข้อมูลเชิงพื้นที่พบว่าพื้นที่ปลูกมะยงชิดมีความเสี่ยงปนเปื้อนด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น ระดับมากที่สุด 2,099.06 ไร่ ระดับมาก 1,258.42 ไร่ ระดับปานกลาง 23.34 ไร่ และความเสี่ยงปนเปื้อนด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ ระดับมากที่สุด 141.32 ไร่ ระดับมาก 2,911.09 ไร่ ระดับปานกลาง 327.80 ไร่ ระดับน้อย 0.61 ไร่ จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษามาวเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารคลอโรไพริฟอส ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ศึกษาไม่พบการจำหน่ายสารคลอโรไพริฟอสในกับเกษตรมาเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี

คำสำคัญ : กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น, กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ, สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช, การปนเปื้อนในดิน

Title	ASSESSMENT OF SOIL PROPERTIES INFLUENCING CHLORPYRIFOS CONTAMINATION USING GEOINFORMATICS IN MARIAN PLUM FARM (<i>BOUEA BURMANACA</i> GRIFF.): A CASE STUDY OF MUEANG NAKHON NAYOK DISTRICT, NAKHON NAYOK PROVINCE
Author	KITPIPAT WONGPUTHORN
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Teerawate Limgomonvilas , Ph.D.
Co Advisor	Sathaporn Monprapusssorn , Ph.D.

Since the utilization of insecticides induces contamination in agricultural produce and the environment, the research aimed to (1) study physical factors of the soil that affect the accumulation of Chlorpyrifos in Marian Plum's plantation, (2) examine the risk of contamination by applying Analysis Hierarchy Process: AHP and Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP. The findings indicate that, according to the AHP method, the eigenvector of soil texture has the highest value (0.362), followed by soil pH(0.240), infiltration rate(0.138), soil depth(0.130), slope(0.081), topology wetness index: TWI(0.048), respectively. However, the findings from the FAHP method suggest that the eigenvectors respectively ranked from the highest to lowest as follows: soil texture(0.194), soil pH(0.181), soil depth(0.165), infiltration rate(0.162), slope(0.155), TWI(0.142). The spatial overlay analysis also revealed the risk of contamination in 540.93 ha of Marian Plum's plantation in Mueang District, Nakhon Nayok Province. Following the AHP method, the risk was highest at 335.85 ha, high at 201.35 ha, and moderate at 3.73 ha. The FAHP method, on the other hand, showed that the risk was highest at 22.61 ha, high at 465.77 ha, moderate at 52.45 ha, and low at 0.10 ha. Additionally, the contamination of Chlorpyrifos was not detected in the analysis of the soil sample retrieved from the research site, most likely due to the lack of agricultural Chlorpyrifos trade in the research site for at least a year.

Keyword : AHP, FAHP, Insecticides, Soil contamination

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้ มีอาจสำเร็จลุล่วงลงได้ ถ้ามิได้รับความกรุณา ความช่วยเหลือ และน้ำใจจากหลายท่าน ซึ่งไม่อาจนำมากล่าวได้ทั้งหมด

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ และ ผศ.ดร.สถาพร มนต์ประภัสสร ที่ให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งตลอดจนชี้แนะและตรวจแก้ข้อบกพร่องต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์มาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบรรพชาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา อบรม สั่งสอน หล่อหลอมให้ข้าพเจ้ามีความรู้ และประสบการณ์ต่าง ๆ นำไปใช้ในการพัฒนาตน พัฒนางาน เพื่อประโยชน์ต่อตนเองและสังคมจนถึงทุกวันนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ถ่ายทอดความรู้ เจริญวิชาแก่ข้าพเจ้า และช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการเล่าเรียน ณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ขอบพระคุณความอนุเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ที่เสียสละเวลาในการตอบแบบสอบถามและให้ข้อเสนอแนะในด้านต่าง ๆ ข้าพเจ้าขอบพระคุณยิ่ง

ขอบพระคุณเกษตรกร พ่อแม่พี่น้อง ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก ที่ให้ความช่วยเหลือและให้การต้อนรับข้าพเจ้าขณะที่สำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี

และสุดท้ายขอขอบคุณทุกกำลังใจและแรงผลักดันที่มอบให้แก่ข้าพเจ้า ประโยชน์และคุณค่าของงานวิจัยนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณ ผู้อยู่เบื้องหลังแห่งความสำเร็จนี้ทุกท่านทั้งที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

กิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ขอบเขตการวิจัย	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิด	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
มะยงชิด	6
การปนเปื้อนในดิน	14
การปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรในดิน.....	19
สารคลอโรไพริฟอส.....	28
การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์.....	34
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	36
การวิเคราะห์หลายปัจจัย	41

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	53
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	57
พื้นที่ศึกษา	57
ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	58
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	59
วิธีดำเนินการศึกษา.....	59
บทที่ 4 ผลการศึกษา	71
ผลลัพธ์การกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ.....	71
ผลลัพธ์การจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	76
ผลลัพธ์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับ กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบ คลุมเครือ	87
ผลลัพธ์การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอส ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น แบบคลุมเครือ.....	109
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	113
สรุปผลการวิจัย.....	113
อภิปรายผลการวิจัย	114
ข้อเสนอแนะ	117
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก แบบสอบถาม	127
ภาคผนวก ข เอกสารขอเชิญผู้เชี่ยวชาญ.....	129
ภาคผนวก ค เอกสารรับของจริยธรรมในมนุษย์.....	138

ประวัติผู้เขียน.....	140
----------------------	-----



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 คุณค่าทางโภชนาการของมะยงชิด.....	8
ตาราง 2 คงทนของสารกำจัดศัตรูพืชบางกลุ่มในดิน	26
ตาราง 3 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของคลอร์ไพริฟอส	28
ตาราง 4 ชนิดและประเภทของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจำแนกตามระดับความรุนแรงใน การเกิดพิษจากการศึกษาในมนุษย์.....	29
ตาราง 5 ความเป็นอันตรายทางสุขภาพ (Health Hazard)	32
ตาราง 6 ความเป็นอันตรายทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Hazard)	33
ตาราง 7 มาตราส่วนที่ใช้ในการเปรียบเทียบความสำคัญ	43
ตาราง 8 การเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยภายใต้วัตถุประสงค์ของปัญหา	44
ตาราง 9 แสดงค่า RI จากการสุ่มตัวอย่าง	45
ตาราง 10 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	49
ตาราง 11 ค่าความสำคัญของ Fuzzy AHP เปรียบเทียบกับ AHP.....	52
ตาราง 12 ผลการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินของ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ด้วยกระบวนการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น	72
ตาราง 13 ผลการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินของ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ด้วยกระบวนการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ.....	74
ตาราง 14 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย	75
ตาราง 15 ลักษณะข้อมูล ค่าความสำคัญ ค่าคะแนนและคะแนนรวมของปัจจัยด้วย กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น	88
ตาราง 16 ลักษณะข้อมูล ค่าความสำคัญ ค่าคะแนนและคะแนนรวมของปัจจัยด้วย กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ.....	89
ตาราง 17 ขนาดพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในแต่ละกลุ่ม	90

ตาราง 18 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสในการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรม	93
ตาราง 19 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอรีไฟรฟอสในดินตามการจำแนกการใช้ประโยชน์ประเภทพื้นที่เกษตรกรรม ระดับที่ 2	98
ตาราง 20 ขนาดพื้นที่ปลูกมะยงชิดที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสแต่ละระดับรายตำบล	105
ตาราง 21 ตำแหน่งพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน	109
ตาราง 22 ผลการตรวจวิเคราะห์สารคลอรีไฟรฟอสในดินตัวอย่าง	112



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิด	5
ภาพประกอบ 2 เส้นทางของสารมลพิษในดิน	15
ภาพประกอบ 3 กระบวนการศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ในสภาพแวดล้อม	23
ภาพประกอบ 4 รูปแบบการเก็บตัวอย่างดิน	35
ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างเปรียบเทียบข้อมูลเรสเตอร์กับเวกเตอร์	39
ภาพประกอบ 6 การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	40
ภาพประกอบ 7 แผนภูมิขั้นโครงสร้าง	42
ภาพประกอบ 8 ตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) กับตรรกะแบบคลุมเครือ (Fuzzy logic)	46
ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ	47
ภาพประกอบ 10 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ	47
ภาพประกอบ 11 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ	48
ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ	48
ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ	48
ภาพประกอบ 14 ค่า Degree of Possibility สำหรับ Convex Fuzzy Number	52
ภาพประกอบ 15 แผนที่อำเภอเมืองจังหวัดนครนายก	58
ภาพประกอบ 16 เนื้อดิน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก	61
ภาพประกอบ 17 อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก	62
ภาพประกอบ 18 ปฏิกริยาดิน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก	63
ภาพประกอบ 19 ความลึกของดิน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก	64
ภาพประกอบ 20 ความลาดชัน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก	65

ภาพประกอบ 21 ดัชนีความชื้นของภูมิภาค อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก	66
ภาพประกอบ 22 วิธีการศึกษา	70
ภาพประกอบ 23 ค่าความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอรีนไฟฟอส ในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น	73
ภาพประกอบ 24 ค่าความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอรีนไฟฟอส ในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ	74
ภาพประกอบ 25 เปรียบเทียบค่าความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนสาร คลอรีนไฟฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นและกระบวนการวิเคราะห์ ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ	76
ภาพประกอบ 26 ปัจจัยเนื้อดิน	81
ภาพประกอบ 27 ปัจจัยปฏิกิริยาดิน	82
ภาพประกอบ 28 ปัจจัยอัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน	83
ภาพประกอบ 29 ปัจจัยความลึกของดิน	84
ภาพประกอบ 30 ปัจจัยความลาดชัน	85
ภาพประกอบ 31 ปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิภาค	86
ภาพประกอบ 32 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีนไฟฟอสในดินจากกระบวนการวิเคราะห์ ตามลำดับขั้น	91
ภาพประกอบ 33 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีนไฟฟอสในดินจากกระบวนการวิเคราะห์ ตามลำดับขั้นคลุมเครือ	92
ภาพประกอบ 34 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีนไฟฟอสด้วยกระบวนการ วิเคราะห์ตามลำดับขั้น	94
ภาพประกอบ 35 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีนไฟฟอสด้วยกระบวนการ วิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ	95
ภาพประกอบ 36 พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่สัมพันธ์กันด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือในพื้นที่เกษตรกรรม	97

ภาพประกอบ 37 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรีฟอกระดับมากที่สุด ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น.....	99
ภาพประกอบ 38 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรีฟอระดับมาก ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น.....	100
ภาพประกอบ 39 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรีฟอระดับปานกลาง ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น.....	101
ภาพประกอบ 40 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรีฟอระดับมากที่สุด ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ	102
ภาพประกอบ 41 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรีฟอระดับมาก ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ	103
ภาพประกอบ 42 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรีฟอระดับปานกลาง ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ	104
ภาพประกอบ 43 พื้นที่เพาะปลูกมะยงชิดที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรีฟอสด้วยกระบวนการ วิเคราะห์ตามลำดับขั้น.....	107
ภาพประกอบ 44 พื้นที่เพาะปลูกมะยงชิดที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรีฟอสด้วยกระบวนการ วิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ	108
ภาพประกอบ 45 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การเกษตร	110
ภาพประกอบ 46 พื้นที่ตัวอย่างและตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน.....	111

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ภาคการเกษตรเป็นแหล่งรายได้หลักของประชากรไทยจำนวนมาก เพราะมีการจ้างงานสูงถึงร้อยละ 30.2 ของกำลังแรงงานทั้งประเทศ ครอบคลุมถึง 6.4 ล้านครัวเรือน และมีที่ดินทำการเกษตรประมาณร้อยละ 40 ของพื้นที่ทั่วประเทศ (โสมรัตน์ จันทรัตน์ และคณะ, 2562) การพัฒนาในทางเกษตรกรรมนั้นได้ส่งผลให้มีการกระตุ้นด้านแรงงาน ประชาชนส่วนใหญ่ได้มีการพัฒนาตนเองที่ดีขึ้น ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ด้านทรัพยากรดิน น้ำ และภูมิอากาศ ที่เอื้ออำนวยต่อการทำเกษตรกรรม จึงทำให้ประเทศไทยมีสินค้าเกษตรบริโภคหมุนเวียนตลอดทั้งปี โดยเฉพาะสินค้าเกษตรประเภทผลไม้ในแต่ละปีสามารถส่งออกต่างประเทศ และสร้างรายได้จำนวนมาก จากข้อมูลปริมาณและมูลค่าการส่งออกผลไม้ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566 ปริมาณทั้งสิ้น 3,158 ตันคิดเป็นมูลค่า 248,982 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 25.9 ของมูลค่าส่งออกสินค้าเกษตรทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)

มะยงชิดเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญและเป็นผลไม้ขึ้นชื่อของจังหวัดนครนายก ได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Index: GI) ซึ่งสะท้อนถึงคุณภาพและเอกลักษณ์เฉพาะตัวของผลผลิตในพื้นที่ ความต้องการบริโภคมะยงชิดในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2565 มะยงชิดมีมูลค่าทางเศรษฐกิจถึง 444.48 ล้านบาท และมีพื้นที่เพาะปลูกขยายตัวเพิ่มขึ้นจาก 5,522 ไร่ในปี พ.ศ. 2551 เป็น 7,909 ไร่ในปี พ.ศ. 2565 โดยพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอเมืองนครนายก รองลงมาคืออำเภอบ้านนา (สำนักงานเกษตรจังหวัดนครนายก, 2565) ด้วยลักษณะเด่นของมะยงชิดที่มีรสหวานอมเปรี้ยว และคุณภาพที่หายาก ประกอบกับช่วงเวลาผลผลิตที่ออกสู่ตลาดจำกัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม ส่งผลให้มะยงชิดเป็นที่ต้องการสูงในตลาด เกษตรกรในพื้นที่จึงมุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิตเพื่อรองรับความต้องการดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การเพิ่มผลผลิตมักมาพร้อมกับการใช้สารเคมีทางการเกษตรเพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืช โดยเฉพาะสารคลอร์ไพริฟอสที่เป็นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชได้หลากหลาย การศึกษาการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินบริเวณสวนมะยงชิดจึงมีความสำคัญ เนื่องจากสารเคมีดังกล่าวอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพดิน ความปลอดภัยของผลผลิต และความยั่งยืนของการเกษตรในระยะยาว การศึกษาการปนเปื้อนสารคลอร์ไพริฟอสในดินบริเวณสวนมะยงชิดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพผลผลิตและความปลอดภัยของผู้บริโภค การปนเปื้อนสารเคมีอาจส่งผลเสียต่อชื่อเสียงของผลผลิต GI และความไว้วางใจของตลาด รวมถึงส่งผลกระทบต่อ

ทางสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ การศึกษาดังกล่าวจึงมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการเกษตรที่ปลอดภัย และยั่งยืนในพื้นที่นครนายก

เนื่องจากลักษณะที่ตั้งของประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น มีศัตรูพืชรบกวนมากกว่า 700 ชนิด รวมทั้ง โรคพืช แมลงศัตรู และวัชพืช เกษตรกรต้องประสบปัญหาการผลิตด้านต่าง ๆ จึงมีการนำเข้า สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมาใช้ในการทำการเกษตรจำนวนมากทุกปี ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายของ ผลผลิตและมีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด จากการศึกษาของ University of Sydney พบว่ามีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมไม่น้อยกว่าร้อยละ 64 ใน 168 ประเทศ ทั่วโลก (Tang, Lenzen, McBratney, & Maggi, 2021) ในปี พ.ศ.2563 พบสารคลอร์ไพริฟอส ตกค้างปริมาณน้อยกว่า 0.02-0.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในผักผลไม้รวมถึงมะยงชิด (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2563; ดนัย ถิวันดา, 2563) (คลอร์ไพริฟอสเป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืช ในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญ สารนี้ออกฤทธิ์ โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส ในการปลุกมะยงชิด คลอร์ไพริฟอสมี ประสิทธิภาพและมักถูกแนะนำให้ใช้ในการป้องกันกำจัดเพลี้ยแป้ง (เกรียงไกร จำเริญมา และคณะ, 2554) การสลายตัวที่ใช้เวลานานของสารกำจัดศัตรูพืชสามารถตกค้างในดินโดยยึดติดกับ อนุภาคของดินไว้อย่างเหนียวแน่น และสามารถปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำได้หากมีการชะล้างพังทลาย ของดิน น้ำไหลบ่าหน้าดิน และน้ำกัดเซาะผิวหน้าดิน จากนั้นอนุภาคดินจะตกตะกอนสู่พื้นท้องน้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ ทั้งได้ดิน ผิวดินและแหล่งน้ำ ทั้งนี้ยังก่อให้เกิด ผลกระทบต่อมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ และเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ในร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพในระยะยาว

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจในการศึกษาการประมาณค่าการปนเปื้อน ของสารคลอร์ไพริฟอสในดินบริเวณพื้นที่ปลูกมะยงชิด จังหวัดนครนายก โดยการบูรณาการระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อศึกษาการกระจายและความสัมพันธ์ของสารคลอร์ไพริฟอสกับปัจจัย ทางกายภาพของดิน ซึ่งการศึกษานี้จะช่วยให้สามารถจัดการการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างมี ประสิทธิภาพ และส่งเสริมการเกษตรปลอดภัยตามนโยบายของรัฐ รวมถึงการพัฒนาระดับ มาตรฐานการผลิตมะยงชิดให้เป็นสินค้าคุณภาพสูง ซึ่งมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและความยั่งยืน ของเกษตรกรรมในพื้นที่ นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ในการต่อยอดงานวิจัยในอนาคตเกี่ยวกับสารเคมี กำจัดศัตรูพืชอื่น ๆ เพื่อสร้างแนวทางในการจัดการสารเคมีในพื้นที่เกษตรกรรมและลดผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ในระยะยาว

วัตถุประสงค์งานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการวิจัยไว้ดังนี้

1. เพื่อประเมินการตกค้างของสารคลอโรไพริฟอสในดินในพื้นที่ปลูกมะยงชิด อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ
2. เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ค่าประมาณการปนเปื้อนของสารคลอโรไพริฟอสในพื้นที่ปลูกมะยงชิด อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก
2. ทราบถึงพื้นที่ที่มีการตกค้างของสารคลอโรไพริฟอสในดินบริเวณพื้นที่ปลูกมะยงชิด อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาการประมาณการปนเปื้อนของสารคลอโรไพริฟอสในพื้นที่ปลูกมะยงชิด นครนายก มีขอบเขตและประเด็นที่จะศึกษา ดังนี้

1. การศึกษาการตกค้างของสารคลอโรไพริฟอส ซึ่งเป็นสารกลุ่ม Organophosphate เพียงชนิดเดียว
2. การสำรวจทางภาคสนามในการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อเก็บตัวอย่างดินส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยตรวจสอบค่าการตกค้างของสารคลอโรไพริฟอส
3. การสร้างแผนการปนเปื้อนของดินที่มีการตกค้างของสารคลอโรไพริฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ

ขอบเขตด้านพื้นที่

อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก มีพื้นที่รวมประมาณ 728.1 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่ปลูกมะยงชิด 7,909 ไร่ หรือ 12.65 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกมะยงชิดมากที่สุดในจังหวัดนครนายก

ขอบเขตด้านเวลา

ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษา คือ ช่วงหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตของมะยงชิด ในช่วงเดือน ธันวาคม พ.ศ.2566

นิยามศัพท์เฉพาะ

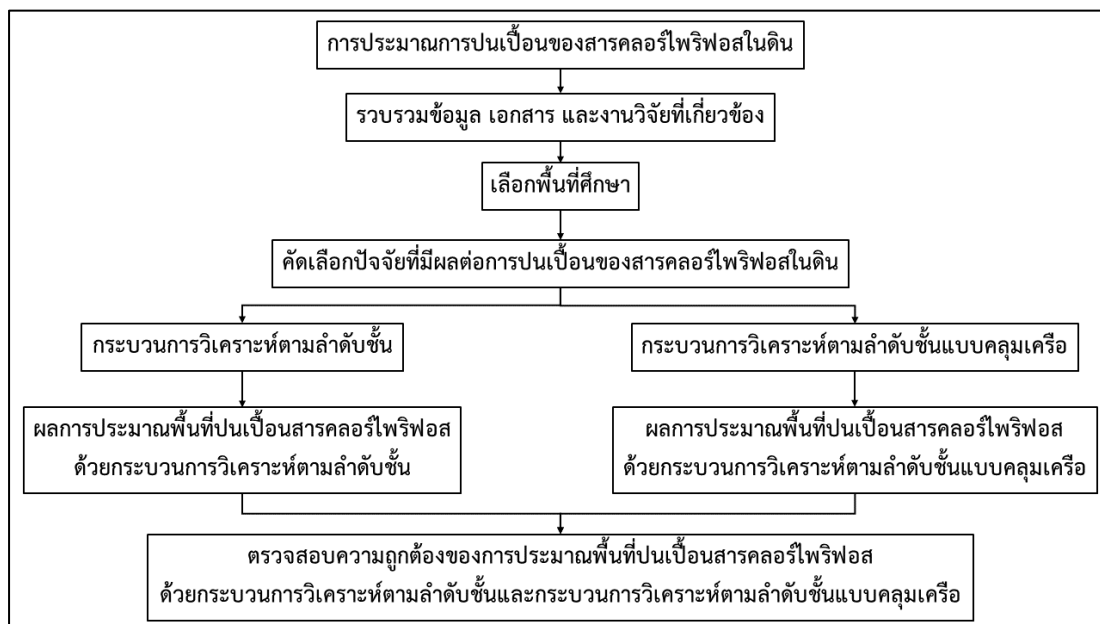
1. สารเคมีทางการเกษตร (pesticide) หมายถึง สารหรือส่วนประกอบของสารเคมีสังเคราะห์ที่ออกแบบมาเพื่อควบคุม ขจัด หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของศัตรูพืช เช่น แมลง วัชพืช โรคพืช หรือสิ่งส่งผลเสียต่อพืชผล ทั้งนี้ เพื่อรักษาคุณภาพและป้องกันความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตร

2. สารพิษตกค้าง (pesticide residue) หมายถึง สารที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอันเนื่องมาจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร ทั้งนี้ยังครอบคลุมถึงกลุ่มอนุพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับวัตถุอันตรายดังกล่าว เช่น สารที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลง สลายหรือสลายตัว รวมถึงสารที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาและสารที่ปนเปื้อนในวัตถุอันตรายทางการเกษตร ซึ่งมีความเป็นพิษในระดับที่สำคัญ

3. กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เป็นกระบวนการที่แปลงปัจจัยที่ไม่สามารถวัดค่าเชิงปริมาณให้สามารถพิจารณาในเชิงปริมาณได้ โดยการกำหนดมาตราส่วนในการพิจารณา วิธีนี้ช่วยให้ได้คำตอบที่สมเหตุสมผล ผ่านการจัดโครงสร้างของปัญหาและเป้าหมายออกมาเป็นแผนภูมิลำดับขั้น

4. กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP) เป็นการบูรณาการระหว่างทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set Theory) กับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น โดยเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจที่พัฒนาขึ้นเพื่อรองรับความไม่แน่นอนและความคลุมเครือของข้อมูล รวมถึงความไม่ชัดเจนในการแสดงความคิดเห็นของมนุษย์ FAHP เพิ่มความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์โดยใช้ตัวเลขฟัซซี (Fuzzy Numbers) แทนการใช้ตัวเลขปกติ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบดั้งเดิมที่อาจไม่สามารถสะท้อนความคิดเห็นที่มีความไม่แน่นอนได้อย่างเหมาะสม

กรอบแนวคิด



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิด

บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษา บททวนเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

มะยงชิด

มะยงชิด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Bouea Buranica* Griff. เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae (Cashew family) เช่นเดียวกับ มะม่วงหิมพานต์ มะม่วง มะกอก มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศพม่า ไทย ลาว กัมพูชา มาเลเซีย มีชื่อสามัญว่า Marian plum และ Plum mango (ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ, 2542)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น มะยงชิดเป็นไม้ที่มีทรงต้นค่อนข้างแหลมถึงทรงกระบอกกิ่งก้านสาขาค่อนข้างที่บ ความสูงของต้นประมาณ 15-30 เมตร มีระบบรากแก้วแข็งแรงทำให้สามารถทนอยู่ในสภาพที่แห้งแล้งได้ดี (ปริญญารัตน์ รัศมีธรรมวงศ์, 2547)

ใบ มะยงชิดมีปริมาณใบมากและแน่นทึบ ลักษณะใบคล้ายกับใบมะม่วงแต่มีขนาดเล็กกว่าและใบขนาดใบโดยเฉลี่ยกว้าง 3.5 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร ใบเป็นใบเลี้ยงคู่ออกตรงกันข้าม ขอบใบเรียบ แผ่นใบเหนียว ใบอ่อนที่แตกออกมาใหม่ ๆ จะมีสีแดงและมีเด่นชัดจากนั้นจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเขียวเป็นมัน ใน 1 ปีมะยงชิดจะแตกใบอ่อนประมาณ 1-3 ครั้ง (ปริญญารัตน์ รัศมีธรรมวงศ์, 2547)

ดอก มะยงชิดจะออกเป็นช่อบริเวณปลายกิ่งแขนงทั้งบริเวณภายในและภายนอกทรงพุ่ม ช่อดอกยาว 8-15 เซนติเมตร ดอกย่อยมีขนาดเล็กเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ในประเทศไทยดอกมะยงชิดจะบานช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม (ปริญญารัตน์ รัศมีธรรมวงศ์, 2547)

ผล มะยงชิดมีลักษณะทรงกลมรูปไข่ปลายค่อนข้างเรียวแหลม มะยงชิดช่อหนึ่งจะมีผลประมาณ 1-15 ผลซึ่งรูปร่างและขนาดของผลมะยงชิดจะแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ ผลอ่อนมีสีเขียวอ่อน เมื่อแก่หรือสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือเหลืองอมส้ม เปลือกผลนิ่ม (ปริญญารัตน์ รัศมีธรรมวงศ์, 2547)

เมล็ด มะยงชิดผลหนึ่งจะมี 1 เมล็ด ส่วนที่หุ้มเมล็ดจะเป็นเส้นใย เนื้อของเมล็ดมีสีชมพูอมม่วง มีรสขมและฝาดใน 1 เมล็ดสามารถเพาะกล่อมะยงชิดได้ 1 ต้น (ปริญญารัตน์ รัศมีธรรมวงศ์, 2547)

ประเภทของมะปราง-มะยงชิด

ประเภทของมะปราง-มะยงชิดในประเทศไทยสามารถจำแนกได้ตามขนาดผลและรสชาติ (อภิชาติ ศรีสอาด และจันทรา อู่สุวรรณ, 2558) ดังนี้

การจำแนกตามขนาดผล แบ่งเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. ชนิดผลเล็ก มีขนาดผลกว้าง 2.5-3.5 เซนติเมตร ยาว 3-4 เซนติเมตร มีจำนวนมากกว่า 25 ผลต่อกิโลกรัม พบการปลูกทั่วประเทศ
2. ชนิดผลใหญ่ มีขนาดผลกว้างมากกว่า 3.5 เซนติเมตร มีจำนวนน้อยกว่า 25 ผลต่อกิโลกรัม เช่น พันธุ์ท่าอิฐ (18-20 ผลต่อกิโลกรัม) นิยมปลูกเชิงพาณิชย์ในจังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร อ่างทอง นนทบุรี นครนายก และปราจีนบุรี

การจำแนกตามรสชาติ แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. มะปรางเปรี้ยว มีรสเปรี้ยวทั้งผลดิบและผลสุก มีทั้งชนิดผลเล็กและใหญ่ เหมาะสำหรับการแปรรูปเป็นมะปรางดอง มะปรางแช่อิ่ม และน้ำมะปราง สายพันธุ์ที่นิยม เช่น พันธุ์กาขาว ซึ่งปลูกในจังหวัดสุโขทัย นครนายก และนนทบุรี
2. มะปรางหวาน มีรสหวานทั้งผลดิบและผลสุก มีทั้งชนิดผลเล็กและใหญ่ ความหวานแตกต่างกันตามสายพันธุ์ สายพันธุ์ที่นิยม เช่น พันธุ์ล่งชิด (สุโขทัย) พันธุ์สุวรรณบาท (อุตรดิตถ์) พันธุ์ท่าอิฐ (นนทบุรี) และพันธุ์ทองใหญ่ (ปราจีนบุรี)
3. มะยง มีรสหวานอมเปรี้ยวในผลเดียวกัน มีทั้งชนิดผลเล็กและใหญ่ แบ่งเป็น มะยงชิด (รสหวานมากกว่าเปรี้ยว) และมะห่าง (รสเปรี้ยวมากกว่าหวาน)

พันธุ์มะยงชิด

มะปราง-มะยงชิดที่ปลูกในประเทศไทยมีทั้งชนิดผลเล็ก ชนิดผลใหญ่ ประเภทที่มีรสเปรี้ยว รสหวานและรสหวานอมเปรี้ยว มะปรางชนิดผลเล็กส่วนใหญ่จะปลูกตามสวนหลังบ้าน กระจายอยู่ทุกภาคของประเทศไทย ส่วนมะปรางชนิดผลใหญ่เป็นมะปรางที่ปลูกเป็นการค้า มากกว่า ราคามะปรางชนิดผลใหญ่ที่มีคุณภาพดีจะอยู่ระหว่างกิโลกรัมละ 80-160 บาท ส่วนมะปรางชนิดผลเล็กกิโลกรัมละ 10-25 บาท (ปรัชญา วัชรธรรมวงศ์, 2547) และในกลุ่มของมะปรางประเภทผลใหญ่ มะยงชิดซึ่งมีรสหวานอมเปรี้ยวมีศักยภาพในการส่งออกสูงกว่ามะปรางหวาน

การตั้งชื่อพันธุ์มะยงชิด ส่วนใหญ่เกษตรกรจะเรียกชื่อพันธุ์ตามแหล่งที่ปลูก ตามชื่อเจ้าของสวนตามลักษณะของผล ตามลักษณะของรสชาติ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีบางต้นบางพันธุ์ที่ขยายพันธุ์มาจากต้นแม่ต้นเดียวกันแต่นำไปปลูกยังแหล่งอื่นแล้วให้ผลผลิตดีกว่าการปลูกที่แหล่งเดิม พันธุ์มะยงชิดที่มีการประมาทในประเทศไทยมีดังนี้

1. พันธุ์มะยงชิดท่าอิฐ ต้นเดิมอยู่ที่ ต.ท่าอิฐ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี

2. พันธุ์มะยงชิดพูลศรี ต้นเดิมอยู่ที่สวนพูลศรี อ.เมือง จ.สุโขทัย
3. พันธุ์มะยงชิดลุงฉิม ต้นเดิมอยู่ที่สวนลุงฉิม บุญเยี่ยม แขวงบางขุนนนท์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร
4. พันธุ์พระอาทิตย์ ต้นเดิมอยู่ที่สวนนางล้วน เขตจ. ในเมือง อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์
5. พันธุ์มะยงชิดสวนนางระเบียบ ต้นเดิมอยู่ที่สวนนางระเบียบ หาญสวธา ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
6. พันธุ์มะยงชิดสวนนางอ่อน ต้นเดิมอยู่ที่สวนนางอ่อน จาดยางโทน ต.วัดพริก อ.เมือง จ.พิษณุโลก
7. พันธุ์มะยงชิดทูลถวายเป็น หรือ ทูลเกล้า ต้นเดิมอยู่ที่สวนครูเมือง ต.ท่าทราย อ.เมือง จ.นครนายก
8. พันธุ์มะยงชิดลุงสอด ต้นเดิมอยู่ที่สวนกำนันสอด ต.มะม่วง อ.เมือง จ.พิจิตร
9. พันธุ์มะยงชิดลุงเสน่ห์ ต้นเดิมอยู่ที่สวนลุงเสน่ห์ พลวิชัย ต.ย่านยาว อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย
10. พันธุ์ดาวพระศุกร์ ต้นเดิมอยู่ที่สวนนางล้วน เขตจ. ในเมือง อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์

ประโยชน์ของมะยงชิด

ข้อมูลจากกองโภชนาการ กรมอนามัย แสดงคุณค่าทางโภชนาการของมะยงชิดในปริมาณ 90 กรัม หรือ มะยงชิดประมาณ 3 ผล ดังนี้

ตาราง 1 คุณค่าทางโภชนาการของมะยงชิด

โภชนาการ	ปริมาณ	หน่วย
พลังงาน	62	กิโลแคลอรี
น้ำตาล	13	กรัม
น้ำ	85	กรัม
โปรตีน	0.5	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	14.2	กรัม
ใยอาหาร	1.6	กรัม
โซเดียม	2	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	13	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	137	มิลลิกรัม

ตาราง 1 (ต่อ)

โภชนาการ	ปริมาณ	หน่วย
แคลเซียม	1	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.28	มิลลิกรัม
ไอโอดีน	1.8	ไมโครกรัม
วิตามินซี	25	มิลลิกรัม
เบต้าแคโรทีน	208	ไมโครกรัม

การปลูกมะยงชิด

มะยงชิดเป็นไม้ผลเมืองร้อนที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ในดินหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียว ดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย และสามารถปลูกได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย แม้ว่ามะยงชิดจะมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าไม้ผลเศรษฐกิจชนิดอื่น แต่มีอายุยืนยาวประมาณ 80-100 ปี ทั้งนี้เนื่องจากมะยงชิดมีระบบรากที่ประกอบด้วยรากแก้วซึ่งหยั่งลึกในแนวดิ่ง และรากแขนงกับรากฝอยที่มีการแผ่กระจายในระดับผิวดินน้อย จึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการปลูกมะยงชิดมีดังนี้ (มนตรี แสนสุข, 2553)

1. น้ำและความชื้นสัมพัทธ์ มะยงชิดเป็นไม้ผลที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกมากและในบริเวณที่ค่อนข้างแห้งแล้ง อย่างไรก็ตาม การปลูกมะยงชิดในเชิงพาณิชย์ควรเลือกพื้นที่ที่มีฤดูฝนและฤดูแล้ง (ฤดูหนาวและฤดูร้อน) ที่ชัดเจน เนื่องจากฤดูแล้งมีบทบาทสำคัญต่อการกระตุ้นการออกดอกของต้นมะยงชิด ในช่วงนี้ ต้นจะอยู่ในระยะพักตัวชั่วคราว หยุดการเจริญเติบโตของกิ่งและใบ โดยอุณหภูมิต่ำในช่วงดังกล่าวจะช่วยกระตุ้นการออกดอกและการติดผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับพื้นที่ที่อาศัยน้ำฝน ควรเลือกบริเวณที่มีฝนตกกระจายตัวเหมาะสมตามฤดูกาล ส่วนในพื้นที่ที่มีฝนตกน้อย ควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำหรือมีระบบชลประทานเพียงพอ โดยเฉพาะในช่วงมะยงชิดแทงช่อดอกและติดผล (ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงมีนาคม) ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนน้อยแต่ต้องการน้ำในปริมาณมากเพื่อการพัฒนาผล หากขาดน้ำในระยะนี้ อาจส่งผลให้ผลผลิตมีขนาดเล็ก ผลร่วงหล่น และให้ผลผลิตต่ำกว่าที่ควร

2. อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการแทงช่อดอก การติดผล และระยะเวลาการสุกของผลมะยงชิด โดยหากอุณหภูมิต่ำและมีระยะเวลาที่คงอยู่ในระดับต่ำเพียงพอ จะช่วยกระตุ้นให้มะยงชิดออกดอกและติดผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ภายหลังการติดผล หากแหล่งปลูกมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จะส่งผลให้ผลมะยงชิดแก่หรือสุกเร็วกว่าพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทั้งนี้ แหล่งปลูกมะยงชิดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลคุณภาพดี ควรมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีอยู่ในช่วง 20-30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลมะยงชิดอย่างเหมาะสม

3. แสง แสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่พืชนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงหรือการสร้างอาหาร โดยทั่วไปแล้วพืชจะเจริญงอกงามได้เมื่อได้รับแสงและจะชะงักการเจริญเติบโตถ้าพืชเหล่านั้นขาดแสง สำหรับมะยงชิดที่เป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในที่ที่มีแสงแดดรำไรหรือแสงแดด 50% จนถึงแสงแดดกลางแจ้งโดยตรงหรือแสงแดด 100% จากลักษณะดังกล่าว มะยงชิดจึงเป็นไม้ผลอีกชนิดหนึ่งที่สามารถปลูกควบคู่กับไม้ยืนต้นชนิดอื่น ๆ ที่มีระบบรากแตกต่างจากมะยงชิดได้ เช่น กัลย หมา และมะพร้าว เป็นต้น

4. ความสูงและเส้นละติจูด การเจริญเติบโตและการออกดอกของมะยงชิดได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ ความสูงและละติจูด โดยพบว่ามะยงชิดสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงความสูงตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึง 1,000 เมตร แต่ระดับความสูงที่เหมาะสมต่อการผลิตเชิงพาณิชย์คือไม่เกิน 600 เมตร เนื่องจากพื้นที่ที่สูงกว่านี้มีความสัมพันธ์กับอัตรา การติดผลและผลผลิตที่ลดลง นอกจากนี้ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะเวลาการออกดอกพบว่า ทุก ๆ ความสูงที่เพิ่มขึ้น 130 เมตร ระยะเวลาการออกดอกจะล่าช้าลงประมาณ 4 วัน ในทำนองเดียวกัน อิทธิพลของละติจูดต่อระยะเวลาการออกดอกแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงละติจูดไปทางเหนือหรือใต้จากเส้นศูนย์สูตรทุก ๆ 1 องศา ส่งผลให้ระยะเวลาการออกดอกล่าช้าลงประมาณ 4 วัน อย่างไรก็ตาม อิทธิพลดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ที่มีลักษณะทางภูมิอากาศเฉพาะ

5. ดิน การเจริญเติบโตของมะยงชิดได้รับอิทธิพลจากลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน โดยมะยงชิดสามารถปรับตัวได้กับดินที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน เช่น ดินเหนียว ดินร่วน และดินร่วนปนทราย อย่างไรก็ตาม ดินร่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีหน้าดินลึก และมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.5 ถึง 7.5 ถือเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี สำหรับพื้นที่ที่มีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบหลัก การปรับปรุงโครงสร้างดินโดยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในรูปของปุ๋ย

คอกหรือปุ๋ยหมักรองก้นหลุมก่อนการปลูก และใส่เพิ่มเติมเป็นระยะหลังการปลูก เพื่อให้โครงสร้างของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมะยงชิด

โรคและแมลงศัตรูมะยงชิด

มะยงชิดเป็นไม้ผลที่มีโรคและแมลงทำลายน้อยหรือค่อนข้างน้อย ทนต่อการทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืชบางชนิด แต่เพื่อป้องกันคุณภาพและปริมาณของผลผลิตมะยงชิดต้องมีการจัดการและป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้มะยงชิดเป็นมีคุณภาพเป็นต้องการของตลาด และทำให้ต้นมะยงชิดมีอายุยืน ให้ผลนาน (ปรีชญา รัตมีธรรมวงศ์, 2547; มนตรี แสนสุข, 2553) โรคและแมลงศัตรูมะยงชิดที่สำคัญมีดังนี้

1. โรคแอนแทรคโนส โรคแอนแทรคโนสในมะยงชิดมีสาเหตุจากเชื้อราในสกุล *Colletotrichum* sp. ซึ่งเป็นเชื้อราที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เชื้อรานี้สามารถเข้าทำลายมะยงชิดได้ในทุกระยะการเจริญเติบโต ตั้งแต่ต้นกล้า ยอดอ่อน ใบอ่อน กิ่งอ่อน ช่อดอก ดอก ผลอ่อน ไปจนถึงผลแก่ รวมถึงผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการระบาดของโรคคือช่วงฤดูฝนหรือสภาพความชื้นสูง และอุณหภูมิระหว่าง 27-32 องศาเซลเซียส การระบาดที่รุนแรงจะส่งผลให้เกิดอาการใบแห้ง ใบบิดเบี้ยวและร่วงหล่น ช่อดอกแห้งและไม่ติดผล รวมถึงผลร่วงหรือผลเน่าหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพ

2. โรคราดำ โรคราดำเป็นโรคที่พบได้ทั่วไปในแหล่งปลูกมะม่วง มะปราง และมะยงชิด สาเหตุเกิดจากเชื้อราหลายชนิด โดยทั่วไปมักพบเชื้อราในสกุล *Capnodium* sp. และ *Meliola* sp. เชื้อราเหล่านี้จะเจริญเติบโตบนสารคัดหลั่งที่มีลักษณะคล้ายน้ำหวานที่ขับถ่ายโดยแมลงปากดูด เช่น เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยแป้ง และเพลี้ยหอย การปรากฏของราดำบนดอกมะปรางจะส่งผลกระทบต่อการผสมเกสร เนื่องจากเชื้อราจะปกคลุมปลายเกสรตัวเมีย ทำให้การผสมเกสรไม่สมบูรณ์และส่งต่อการติดผล เชื้อราดำมีอยู่ทั่วไปในสภาพแวดล้อมและสามารถเจริญเติบโตบนส่วนต่างๆ ของมะปรางและมะยงชิดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนใบและช่อดอก อย่างไรก็ตาม ปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการระบาดของโรคคือการมีอยู่ของแมลงปากดูด แมลงเหล่านี้จะดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชและขับถ่ายสารที่มีลักษณะคล้ายน้ำหวานออกมา สารนี้เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสำหรับเชื้อราดำ ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตและแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ปกคลุมส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่อดอก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการติดผลของมะยงชิด

3. โรคขอบใบแห้ง โรคขอบใบแห้งในมะปรางและมะยงชิดมักพบในช่วงฤดูแล้ง โดยมีลักษณะอาการคือ ปลายใบหรือขอบใบเป็นสีน้ำตาลอ่อน ขอบแผลอาจเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย สาเหตุของโรคมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ สภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งและอากาศร้อนจัด ทำให้พืช

คายน้ำมากเกินไป ความเสียหายของระบบรากจากการเข้าทำลายของแมลงในดินหรือการโยกของลำต้น และการเข้าทำลายของแมลงปากดูด เช่น เพลี้ยไฟ ในช่วงแตกใบอ่อน

4. โรคผลเน่า อาการผลเน่าในมะยงชิดมักปรากฏหลังจากผลได้รับความเสียหายทางกายภาพ เช่น การถูกแมลงวันทองเจาะทำลาย การกระทบกระเทือนระหว่างการเก็บเกี่ยวหรือการขนส่ง ผลที่เป็นโรคจะมีลักษณะเนื่อเนิ่มและมีสีเทาหรือดำบริเวณที่เกิดความเสียหาย โรคผลเน่าในมะยงชิดมักมีสาเหตุจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งจะเข้าสู่ผลผ่านทางบาดแผลที่เกิดจากการถูกแมลงวันทองเจาะ หรือจากการกระทบกระเทือนระหว่างการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดรอยแตกหรือรอยขั้บนผิวผล ซึ่งเป็นช่องทางให้เชื้อโรคเข้าสู่เนื้อผลและเจริญเติบโต ทำให้เกิดอาการเน่าเสีย เนื้อผลจะเนิ่ม มีสีเทาหรือดำ และอาจมีกลิ่นเหม็น

5. เพลี้ยไฟ (Thrips) เพลี้ยไฟทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยใช้ปากแบบเจาะดูดทำลายพืชโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงจากเซลล์พืชบริเวณต่าง ๆ เช่น ใบอ่อน ยอดอ่อน ตาใบ ตาดอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณฐานรองดอกและช่อดอกอ่อน ส่งผลให้เซลล์พืชบริเวณดังกล่าวถูกทำลาย อาการที่ปรากฏแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับส่วนของพืชที่ถูกทำลาย เช่น ใบอ่อนจะมีลักษณะแฉะแกร็น ขอบใบและปลายใบไหม้ ใบแก่จะม้วนงอและมีอาการปลายใบไหม้ ยอดจะแห้งและไม่แทงช่อดอก และหากเกิดการทำลายในระยะติดผล จะทำให้ช่อดอกหงิกงอ ดอกร่วง ไม่ติดผล หรือติดผลน้อย และผลไม่สมบูรณ์

6. เพลี้ยจักจั่น (Hopper) เพลี้ยจักจั่นทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยทำลายพืชโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงจากส่วนต่าง ๆ เช่น ใบอ่อน ยอดอ่อน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่อดอก ช่วงที่มะยงชิดได้รับความเสียหายมากที่สุดคือช่วงออกดอก โดยเพลี้ยจักจั่นจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากช่อดอกโดยตรง ทำให้ช่อดอกแห้งและดอกร่วง ส่งผลให้การติดผลลดลงหรือไม่ติดผลเลย นอกจากการดูดกินน้ำเลี้ยงโดยตรงแล้ว เพลี้ยจักจั่นยังขับถ่ายสารที่มีลักษณะเป็นน้ำเหนียวคล้ายน้ำหวานออกมา สารนี้จะปกคลุมส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบ ช่อดอก และบริเวณโดยรอบ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีของเชื้อราดำ

7. แมลงค่อมทอง (Leaf eating weevil) แมลงค่อมทองในระยะตัวเต็มวัยสามารถเข้าทำลายพืชได้หลากหลายชนิด รวมถึงมะปราง มะยงชิด และมะม่วง โดยจะกัดกินใบพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่พืชแตกใบอ่อน ลักษณะความเสียหายที่พบคือใบจะถูกกัดกินเป็นรอยเว้าแหว่ง หากการระบาดรุนแรง ใบอาจถูกกัดกินจนเหลือเพียงก้านใบ

8. แมลงวันทอง (Fruit fly) แมลงวันทองเป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญของไม้ผลในเขตร้อนและกึ่งร้อน รวมถึงประเทศไทย สร้างความเสียหายแก่ไม้ผลหลายชนิด โดยทั่วไป มะยงชิดจะติดผลในช่วงฤดูหนาวหรือช่วงอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นช่วงที่การระบาดของแมลงวันทองค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ปัจจุบันพื้นที่ปลูกมะยงชิดบางแห่งอาจประสบกับช่วงอุณหภูมิต่ำในระยะเวลาสั้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงใกล้ผลสุก ทำให้แมลงวันทองซึ่งมีพืชอาหารหลากหลายชนิด สามารถเข้าทำลายผลมะยงชิดได้ โดยแมลงวันทองจะวางไข่ในผลมะยงชิดในช่วงใกล้สุกจนถึงผลสุกที่มีสีเหลือง ทำให้เกิดหนอนภายในผล ผลเน่าและร่วงหล่นในที่สุด

9. ตัวงวงกัดใบมะพร้าว (Leaf cutting weevil) ตัวงวงกัดใบมะพร้าวในระยะตัวเต็มวัยจะเข้าทำลายเฉพาะใบอ่อน โดยตัวเมียจะวางไข่บริเวณด้านบนของใบอ่อนใกล้กับเส้นกลางใบ หลังจากวางไข่เสร็จ ตัวเมียจะกัดใบห่างจากข้อใบประมาณ 1-2 เซนติเมตร ทำให้ส่วนของใบอ่อนที่มีไข้วงลงสู่พื้นดิน ลักษณะรอยกัดจะเป็นเส้นตรงคล้ายกับการใช้กรรไกรตัด การทำลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยตัวงวงสามารถกัดกินใบอ่อนของมะยงชิดจนหมดภายใน 2-3 วัน

10. ตัวงเจาะลำต้นมะยงชิด (Stem boring beetle) ตัวงเจาะลำต้นในระยะตัวหนอนเป็นศัตรูที่สำคัญของมะยงชิด โดยตัวหนอนจะเจาะเข้าไปในลำต้นหรือกิ่ง ทำให้มะยงชิดชะงักการเจริญเติบโต ตัวเมียภายหลังการผสมพันธุ์จะวางไข่ตามรอยแผลหรือรอยแตกของเปลือกไม้เมื่อไข่ฟักออกเป็นตัวหนอน จะใช้ปากเจาะไข่เข้าไปในลำต้น บริเวณที่ถูกกัดกินคือเนื้อเยื่อเจริญใต้เปลือกไม้และชั้นห่ออาหาร การทำลายของหนอนตัวงเจาะลำต้นส่งผลให้ลำต้นมะยงชิดอ่อนแอและชะงักการเจริญเติบโต ไม่มีการแตกใบอ่อนชุดใหม่ ใบแก่เริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและร่วงหล่น หากการทำลายเกิดขึ้นรอบลำต้น มะยงชิดจะตายอย่างรวดเร็ว

11. เพลี้ยหอย (Scale insects) เพลี้ยหอยทำลายมะยงชิดโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ยอดใบ ช่อดอก และผลอ่อน โดยมักพบเพลี้ยหอยเกาะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม การดูดกินน้ำเลี้ยงนี้จะทำให้เกิดรอยยุบเล็กน้อยบนส่วนที่ถูกทำลาย หากเพลี้ยหอยเข้าทำลายในปริมาณมาก จะส่งผลให้มะยงชิดชะงักการเจริญเติบโต หรือผลมะยงชิดเจริญเติบโตผิดปกติ ทำให้ผิวมะยงชิดไม่สวยงามและมีคุณภาพลดลง

มะยงชิดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ประสบปัญหาจากแมลงศัตรูพืชหลายชนิด ส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิต ซึ่งสารคลอร์ไพริฟอสมีฤทธิ์กำจัดแมลง โดยเฉพาะแมลงปากดูดและแมลงกัดกินใบ เช่น เพลี้ยไฟ, เพลี้ยจักจั่น, แมลงค่อมทอง, แมลงวันทอง, ตัวงเจาะลำต้น และเพลี้ยหอย โดยขึ้นอยู่กับชนิดและระยะการเจริญเติบโตของแมลง ระดับความต้านทาน สภาพแวดล้อม

และวิธีการใช้ แม้คลอรีนไฟฟอสจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงบางชนิด แต่ควรพิจารณาการใช้อย่างถี่ถ้วน เนื่องจากมีข้อกังวลต่อสุขภาพมนุษย์ สัตว์ และระบบนิเวศ คลอรีนไฟฟอสมีกลไกออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท การสัมผัสหรือได้รับสารปริมาณมากอาจก่อให้เกิดอาการ เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ กล้ามเนื้ออ่อนแรง และอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต นอกจากนี้ สารนี้ยังอาจตกค้างในผลผลิตและสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคและระบบนิเวศในวงกว้าง

การปนเปื้อนในดิน

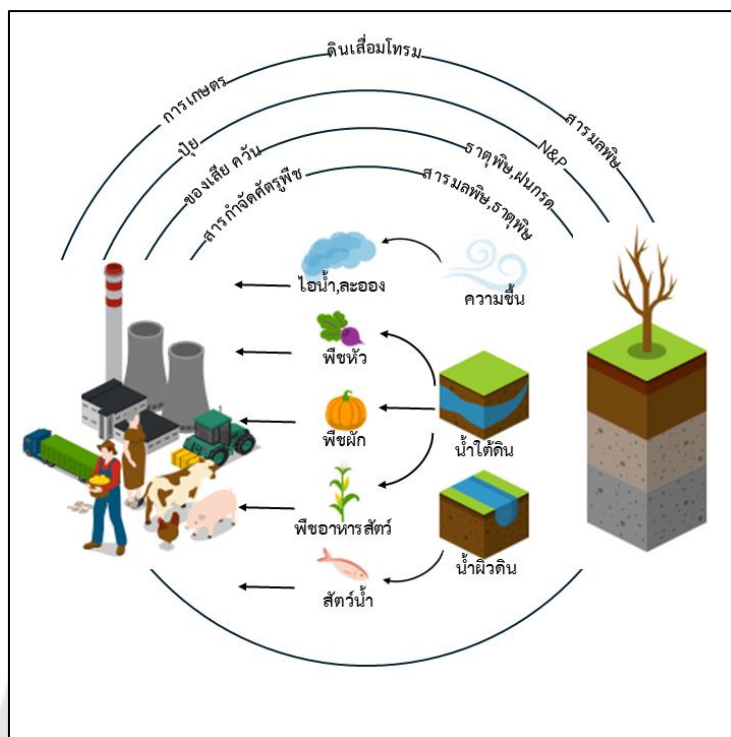
ความหมายของการปนเปื้อนในดิน

กรมพัฒนาที่ดินได้ให้ความหมายของการปนเปื้อนในดินไว้ว่า หมายถึง สภาวะที่ดินมีสารพิษในรูปแบบต่าง ๆ ปะปนอยู่ สภาวะการปนเปื้อนนี้อาจเกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งโดยเจตนาและไม่เจตนา หรืออาจเกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ แต่ผลลัพธ์ที่ตามมาคือการเสื่อมโทรมของดิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ความปลอดภัยของมนุษย์และสัตว์ รวมถึงความจำเป็นในการฟื้นฟูที่ดินให้กลับคืนสู่สภาพเดิม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)

ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2559) ให้ความหมายว่า ภาวการณ์ปนเปื้อนของดินด้วยสารมลพิษของดินมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพ อนามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์

สุปิณท์ นิมรัตน์ (2542) ให้ความหมายว่า ภาวะที่ดินมีมลสาร สารพิษ หรือสารปนเปื้อน ซึ่งเกิดจากการเติมหรือทิ้งสิ่งต่าง ๆ ลงในดินเกินค่ามาตรฐาน จนส่งผลกระทบต่อน้ำของสิ่งมีชีวิต (สุปิณท์ นิมรัตน์, 2542)

จากความหมายดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า การปนเปื้อนในดิน คือ ภาวะที่ดินเสื่อมคุณภาพหรือมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติตามธรรมชาติเดิมของดิน เนื่องจากถูกปนเปื้อนด้วยสารมลพิษ (pollutant) มากเกินมาตรฐาน ส่งผลให้ดินไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ตลอดจนส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ



ภาพประกอบ 2 เส้นทางของสารมลพิษในดิน

ที่มา: ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2559)

สาเหตุการปนเปื้อนในดิน

ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2559) ได้จำแนกมลสารที่ก่อให้เกิดมลพิษในดินออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. สารชีวภาพ (Biological Contaminants) มลสารประเภทนี้ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น พยาธิ แบคทีเรีย และไวรัส ซึ่งสามารถก่อให้เกิดโรคร้ายแก่ทั้งมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในระบบนิเวศดิน สารชีวภาพเหล่านี้อาจมาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น มูลสัตว์หรือการขับถ่ายอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการบ่มการหมักที่เหมาะสม
2. สารเคมี (chemical contaminants) มลสารประเภทนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ (1) สารอนินทรีย์: เช่น โลหะหนัก (ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม อาร์เซนิก) และเกลือ หากมีปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดสภาวะดินเค็ม ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชทั่วไป โลหะหนักยังสามารถสะสมในพืชและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (2) สารอินทรีย์ เช่น สารกำจัดศัตรูพืช สารไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) สารเหล่านี้สามารถ

ตกค้างในดินเป็นเวลานาน และถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร โดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความเข้มข้นขึ้นตามลำดับขั้นของผู้บริโภค (Biomagnification)

3. สารกัมมันตรังสี (radiological contaminants) มลสารประเภทนี้มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เตาปฏิกรณ์ปรมาณู และการทดสอบอาวุธนิวเคลียร์ สารกัมมันตรังสีสามารถปนเปื้อนในดินและสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน การได้รับสารกัมมันตรังสีในปริมาณสูงอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น การเกิดโรคมะเร็ง และในบางกรณีอาจทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดการกลายพันธุ์ได้ (ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2559)

ปัญหาการปนเปื้อนในดิน

การปนเปื้อนในดินเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเกษตร สุขภาพของมนุษย์และสัตว์ รวมถึงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การปนเปื้อนนี้มีสาเหตุจากทั้งปรากฏการณ์ธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ดังนี้

1. สาเหตุจากธรรมชาติ (Natural Sources) สภาพธรรมชาติของดินในบางพื้นที่อาจไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก เช่น บริเวณที่มีปริมาณเกลือสูง หรือดินเปรี้ยว นอกจากนี้ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น พายุน้ำท่วม อาจพัดพาตะกอนดินและสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ รวมถึงสิ่งมีชีวิตที่ก่อโรค ทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน (ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2559)

2. สาเหตุจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Sources) กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญของการปนเปื้อนในดิน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การใช้สารเคมีและสารกัมมันตรังสี สารเคมีทางการเกษตร เช่น สารกำจัดแมลงและสารกำจัดวัชพืช บางชนิดมีความคงทนในดินสูง เช่น คลอรีเนเตด ไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) และคลอรีเนเตด ฟีนอกซี (chlorinated phenoxy) สารเหล่านี้ รวมถึงสารกำจัดแมลงบางประเภท เช่น ดีดีที (DDT) และดีลดริน (Dieldrin) มีครึ่งชีวิตยาวนาน (10-20 ปี) ทำให้สะสมในดินและถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้ สารเคมีจากโรงงานอุตสาหกรรมและสถานวิจัย เช่น โลหะหนัก และสารกัมมันตรังสีจากโรงงานนิวเคลียร์ การทดลองระเบิดปรมาณู และของเสียจากสถานวิจัย ก็เป็นแหล่งสำคัญของการปนเปื้อน สารเหล่านี้บางชนิดเป็นอันตรายโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิต บางชนิดเปลี่ยนแปลงสภาพดิน ทำให้ดินเป็นกรดหรือด่าง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Institute for Innovative Learning, 2018)

2.2 การใช้ปุ๋ย การใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากเกินไปทำให้เกิดการสะสมของธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษในดิน ปุ๋ยบางชนิด เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียในดินจะเกิด

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อรากพืชทำให้พืชดูดซึมแร่ธาตุได้น้อยลง (Park, Finn, & Cooke, 2018)

2.3 การทิ้งขยะมูลฝอยและของเสีย: การทิ้งขยะมูลฝอยและของเสียต่าง ๆ ลงในดิน ทำให้เกิดการสะสมของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ขยะบางชนิดที่ย่อยสลายยาก เช่น พลาสติก โลหะ หากถูกเผา จะเหลือเกลือ เช่น เกลือไนเตรต สะสมในดิน การทิ้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะที่มีโลหะหนัก เช่น ตะกั่วปรอท และแคดเมียม ทำให้ดินบริเวณนั้นปนเปื้อนโลหะหนัก ของเสียจากสัตว์ในฟาร์มปศุสัตว์ขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการสะสมของอนุมูลไนเตรตและไนโตรต์ ซึ่งเป็นพิษต่อดิน (Wang & Björn, 2014)

3. มลพิษของดินจากอากาศเสีย การปล่อยสารพิษทางอากาศ เช่น จากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ไม่มีการจัดการที่ดี อาจปล่อยสารกัมมันตรังสี เช่น ซีเซียมและไอโอดีนสู่ชั้นบรรยากาศ สารเหล่านี้สามารถตกลงสู่พื้นดินและก่อให้เกิดการปนเปื้อน (นันทวุฒิ จำปางาม, 2561)

ผลกระทบของภาวะปนเปื้อนในดิน

สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. ผลกระทบต่อความสัมพันธ์ภายในระบบนิเวศ

สารเคมีอันตรายนอกจากจะอยู่ในดินที่ใช้ปลูกพืชหรือในดินที่ได้รับการปนเปื้อน เหล่านี้ยังสามารถกระจายไปที่อื่นซึ่งไม่มีการปนเปื้อนมาก่อน (ชนวน รัตนวราหะ, 2542) โดยผลจากการที่ดินได้รับสารเคมีอันตรายจนเกิดภาวะมลพิษในดินได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ เมื่อชะล้างดินที่มีสารพิษลงใต้น้ำก่อให้เกิดภาวะมลพิษในน้ำ ซึ่งทำให้เกิดผลเสียแก่สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ปนเปื้อน เช่น หอย ปู ปลา เป็นต้น (นวลศรี ทยาพัชร, 2534) และหากกรณีเป็นฝุ่นดินปะปนในอากาศจะทำให้เกิดอากาศเสียและภาวะพิษในดินยังก่อให้เกิดผลเสียโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตต่ำหรืออาจไม่ได้เลย นอกจากนั้นผลกระทบที่สำคัญคือ สารเคมีอันตรายในดินจะเกิดการสะสมในดินห่วงโซ่อาหาร (สุธีลา ตูลยเสถียร และคณะ, 2544) ซึ่งจากการที่มีสารเคมีอันตรายสะสมในห่วงโซ่อาหาร ทำให้สิ่งมีชีวิตได้รับสารเคมีศัตรูสะสมมากขึ้นผ่านห่วงโซ่อาหาร เมื่อสะสมมากจนอันตรายทำให้สิ่งมีชีวิตนั้นตายไป โดยเฉพาะพวกแพลงตอนและสัตว์น้ำขนาดเล็กจะตายก่อนทำให้สมดุลของธรรมชาติเสียไป และส่งผลกระทบถึงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ ที่เป็นอาหารของมนุษย์จนก่อให้เกิดการสะสมในมนุษย์เนื่องจากอยู่บนสุดของห่วงโซ่อาหาร

2. ผลกระทบต่อมนุษย์

สารเคมีอันตรายเป็นอันตรายต่อมนุษย์ อาจได้รับสารพิษจากสารเคมีนี้โดยตรงจากการสูดดม หรือสัมผัสกับสารเคมี หรือกรณีที่ได้รับสารพิษผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ทั้งนี้ดินที่มีการปนเปื้อนสารเคมี ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสารเคมีทางผ่านเข้าทางปาก จมูก ผิวหนังจะก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง ซึ่งสารต่าง ๆ อาจอยู่ในรูปของอินทรีย์และอนินทรีย์ นอกจากนี้อาจทำให้ภูมิคุ้มกันต่ำลง เมื่อร่างกายมนุษย์ได้รับสารเคมีที่ปนเปื้อนในดินเข้าไปสะสมในร่างกายมากขึ้นย่อมทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ (ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

3. ผลกระทบต่อพืชและสัตว์

ดินเป็นตัวกลางที่พืชใช้ดำรงชีวิต สารที่อยู่ในดินเป็นอาหารของพืชและอาจเป็นพิษต่อพืชได้หากได้รับในปริมาณมาก โดยความเป็นพิษที่มีต่อพืชแสดงออกโดยอัตราการเจริญเติบโต การแพร่พันธุ์ และความทนทานต่อโรคน้อยลง นอกจากนี้ยังพบสารเคมีอันตรายตกค้างในพืชและโดยรวมจะพบว่าปริมาณชีวมวล (Biomass) ลดลง พืชสามารถสะสมสารไว้ในที่ต่าง ๆ ทั้ง ราก เหง้า ลำต้น ใบและผล ทำให้เกิดสารเคมีอันตรายสามารถเคลื่อนย้ายจากดินไปตามห่วงโซ่อาหารและถึงมนุษย์ในลำดับท้าย (มลิวรรณ บุญเสมอ, 2547) สารเคมีปนเปื้อนที่ตกค้างในดินยังส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยเฉพาะสัตว์ที่มีลำตัวเป็นข้อปล้อง (Arthropod) และจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน สำหรับสัตว์เลี้ยงกินพืชซึ่งปลูกอยู่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารเคมีอันตรายและน้ำจะก่อให้เกิดความเป็นพิษของสารเคมีอันตรายในสัตว์เลี้ยง เช่น ทำให้มีการกินน้ำเพิ่มขึ้น น้ำหนักตัวลดลง อัตราการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะปลา ทำให้เติบโตช้า รูปร่างพิการหรือปรับตัวจากสารเคมีไม่ได้จนตายไป

4. ผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจและสังคม

เมื่อเกิดภาวะปนเปื้อนในดินแล้วต้องมีการปรับปรุงดินซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง สำหรับประเทศไทย การปรับปรุงดินโดยเกษตรกรเป็นไปได้น้อยเนื่องจากปัญหาความยากจนประกอบกับราคาผลผลิตทางการเกษตรที่ต่ำ ส่งผลให้เกิดการอพยพเข้ามาทำงานในเมืองเพื่อแสวงหาโอกาสทางการเงิน ทำให้เกิดปัญหาสังคมตามมา

นอกจากนี้หากมีการตกค้างของสารเคมีในผลผลิตทางการเกษตรจะส่งผลกระทบต่อส่งออกผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากประเทศต่าง ๆ จะปฏิเสธการนำเข้าผลผลิตที่มีการตกค้างของสารเคมี ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อเศรษฐกิจ ตัวอย่างเช่น กรณีสหภาพยุโรปตรวจพบการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เกินค่ามาตรฐาน (Maximum Residue Limits: MRLs) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญอาจทำให้ไทยสูญเสียการส่งออกผักและผลไม้สดไปยังตลาดสหภาพยุโรป โดยสารเคมีที่ถูกสุ่มตรวจพบจาก

พืชผักส่งออกของไทยในปี พ.ศ.253 มีถึง 23 ชนิด สารที่พบมากที่สุดถึง 9 ครั้งคือ Omethoate รองลงมาคือ Dimethoate และ Indoxacarb 6 ครั้ง และยังตรวจพบสาร Carbofuran และ Dicrotophos ซึ่งมีพิษรุนแรงพบมากถึง 5 ครั้ง (สิรินาฏ พรศิริประธาน, 2554) และส่งผลกระทบต่อเป็นลูกโซ่ไปยัง การส่งออกผลผลิตทางการเกษตรสู่ต่างประเทศ

การปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรในดิน

ในการผลิตพืชเพื่อเป็นอาหารของมนุษย์ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมศัตรูพืช เพื่อรักษาผลผลิตไม่ให้สูญเสียไปเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เพื่อให้ได้ปริมาณที่เพียงพอต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว ความอยู่รอดของมนุษย์จึงขึ้นอยู่กับ การกำจัดศัตรูพืช (จุฑามาศ สัตยวิวัฒน์, 2562) การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเริ่มในยุคปฏิวัติเขียว (Era of the Green Revolution) เพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่สูงทำให้คุณภาพของดินโดยรวมเสื่อมลงอย่างมาก กล่าวคือ ความอุดมสมบูรณ์ในดินและความหลากหลายทางชีวภาพในธรรมชาติลดลง ดินสูญเสียโครงสร้างและแน่น สืบเนื่องจากการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตร อินทรีย์วัตถุในดินลดลงอย่างมาก ดินเป็นกรดและสะสมเกลือมากขึ้นเนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราสูงเกินไป เกิดภาวะการสูญเสียสมดุลของธาตุอาหารในดิน นอกจากนี้การใช้สารเคมีทางการกำจัดศัตรูพืชได้ทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ลงด้วย (อรรพรรณ ฉัตรศรีรุ่ง, 2551)

ความหมายของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ตามมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 วัตถุอันตรายถูกกำหนดความหมายให้ครอบคลุมถึงสารหรือสิ่งที่มีคุณสมบัติเป็นวัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์และเปอร์ออกไซด์ สารพิษ วัตถุที่เป็นสาเหตุของโรค วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม สารกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง รวมถึงวัตถุอื่น ๆ ทั้งในรูปของเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อบุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม โดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีอำนาจหน้าที่ในการควบคุมวัตถุอันตรายที่ใช้ทางการเกษตร ซึ่งตามข้อ 2.6 แห่งข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร ได้ให้ความหมายคำว่าวัตถุอันตรายทางการเกษตร หมายถึง สารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกัน กำจัด ดึงดูด ขับไล่ หรือควบคุมพืชและสัตว์หรือสิ่งมีชีวิตที่ไม่ต้องการในกระบวนการเพาะปลูก การเก็บรักษา การขนส่ง การจำหน่าย หรือในขั้นตอนการผลิตสินค้าเกษตรและอาหาร นอกจากนี้ยังครอบคลุมสารที่ใช้กับสัตว์เพื่อควบคุมปรสิตภายนอก (Ectoparasites) รวมถึงสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สารทำให้ใบหรือผลร่วง สารยับยั้งการแตกใบอ่อน และสารที่ใช้กับพืชผลก่อนหรือหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันความเสื่อม

เสียระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง ทั้งนี้ ไม่ครอบคลุมถึงปุ๋ย สารอาหารของพืชและสัตว์ วัตถุเจือปนอาหาร และยาสำหรับสัตว์ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร, 2548)

วัตถุอันตรายทางการเกษตรมีความหมายตรงกับคำว่า Pesticide ขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nation: FAO) ที่ให้ความหมายว่า สารหรือส่วนผสมของสารที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ดังนี้ (FAO, 2003)

ประการแรก ใช้ในการป้องกัน ทำลาย หรือควบคุมศัตรูพืช รวมถึงพาหะนำโรคในมนุษย์และสัตว์ ตลอดจนพืชหรือสัตว์ที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งก่อความเสียหายต่อผลผลิต

ประการที่สอง ใช้ในการควบคุมกระบวนการตั้งแต่การผลิต การจัดเก็บ การขนส่ง และการตลาดของผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น อาหาร สินค้าเกษตร ไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ รวมถึงอาหารสัตว์

ประการที่สาม ใช้ในการควบคุมแมลงและศัตรูที่อยู่นบนหรือในร่างกายสัตว์ นอกจากนี้ ยังครอบคลุมถึงสารควบคุมการเจริญเติบโต สารที่ทำให้ใบร่วง สารดูดความชื้น และสารที่ใช้ป้องกันการร่วงของผลไม้ก่อนกำหนด และยักรวมถึงสารที่ใช้ในการรักษาสภาพผลผลิตทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพระหว่างการจัดเก็บและการขนส่ง

จากความหมายข้างต้น จึงสรุปความหมายของคำว่า “สารเคมีกำจัดศัตรูพืช” หมายถึง สารหรือส่วนผสมของสารที่มีคุณสมบัติในการควบคุม ป้องกัน ดึงดูด ขับไล่ หรือกำจัดศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายต่อผลผลิตทางการเกษตร โดยมีการใช้งานตลอดห่วงโซ่การผลิต ตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูก การเก็บรักษา การขนส่ง ไปจนถึงการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหาร นอกจากนี้ ยังครอบคลุมถึงสารที่ใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สารที่ทำให้ใบหรือผลร่วง สารยับยั้งการแตกยอดอ่อน รวมถึงสารที่ใช้รักษาสภาพพืชผลทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง ทั้งนี้ ความหมายดังกล่าวไม่รวมถึงปุ๋ย สารอาหารสำหรับพืชและสัตว์ วัตถุเจือปนอาหาร และยาสำหรับสัตว์

ประเภทของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามเกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. แบ่งโดยลักษณะการเกิด (นวลศรี ทยาพัชร, 2534) ได้แก่
 - 1.1 กลุ่มสารที่สังเคราะห์ขึ้น (Synthetic Pesticide)
 - 1.2 กลุ่มสารตามธรรมชาติ (Biological Pesticide)
2. แบ่งโดยสภาพการออกฤทธิ์ภายในหรือภายนอกเซลล์ (ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ได้แก่

2.1 สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทสัมผัสตาย (Contract Pesticide) หรือประเภทไม่ดูดซึม (Nonsystemic) สารประเภทนี้จะเคลือบภายนอกเซลล์ผิวพืช ออกฤทธิ์โดยการสัมผัสกับกลุ่มเป้าหมาย

2.2 สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทดูดซึม (Systemic Pesticide) ซึ่งจะออกฤทธิ์โดยการดูดซึมเข้าสู่เซลล์พืช สารจะดูดซึมเข้าไปในพืช และมีกลไกในการออกฤทธิ์ทำลายหลังจากนั้น

3. แบ่งโดยอาศัยกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่

3.1 สารป้องกันกำจัดแมลง (Insecticide)

3.2 สารป้องกันกำจัดวัชพืช (Herbicide)

3.3 สารป้องกันกำจัดรา (Fungicide)

3.4 สารอื่น ๆ เช่น สารป้องกันกำจัดสัตว์ฟันแทะ (Rodenticide) สารป้องกันกำจัดไส้เดือนฝอย (Nematocide) เป็นต้น

4. แบ่งโดยโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี เฉพาะกลุ่มที่สำคัญและนิยมใช้กันมาก ได้แก่

4.1 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนคลอรีน (Chlorinated Hydrocarbon) หรือคลอรีนอินทรีย์ (Organochlorine)

4.2 กลุ่มฟอสเฟตอินทรีย์ (Organophosphate)

4.3 กลุ่มกรดคลอโรฟีน็อกซี (Chlorophenoxy Acid)

4.4 กลุ่มคาบอเนต (Carbamate)

4.5 กลุ่มไตรอะซีน (Triazine)

4.6 กลุ่มแทนทียูเรีย (Substituted Urea)

5. องค์การอนามัยโลกได้แบ่งระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของสารเคมีออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ โดยพิจารณาจากปริมาณที่ทำให้เสียชีวิต ดังนี้ (สาคร มีสุข, 2556)

5.1 กลุ่ม 1A (Extremely Hazardous) สารเคมีในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษสูงมาก เพียงรับประทานในปริมาณน้อยกว่า 1 ช้อนชา ก็อาจทำให้เสียชีวิตได้ ตัวอย่างเช่น EPN และ Parathion methyl เป็นต้น

5.2 กลุ่ม 2B (Highly Hazardous) สารเคมีในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษสูงเช่นกัน โดยปริมาณที่ทำให้เสียชีวิตอยู่ที่ประมาณ 1 ช้อนชา (หรือประมาณ 3 หยด) ตัวอย่างเช่น Methomyl, Carbofuran, Dicrotophos และ Methamidofos เป็นต้น

5.3 กลุ่ม 2 (Moderately Hazardous) สารเคมีในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษปานกลาง ปริมาณที่ทำให้เสียชีวิตอยู่ระหว่าง 1 ช้อนชา ถึง 2 ช้อนโต๊ะ ตัวอย่างเช่น Endosulfan เป็นต้น

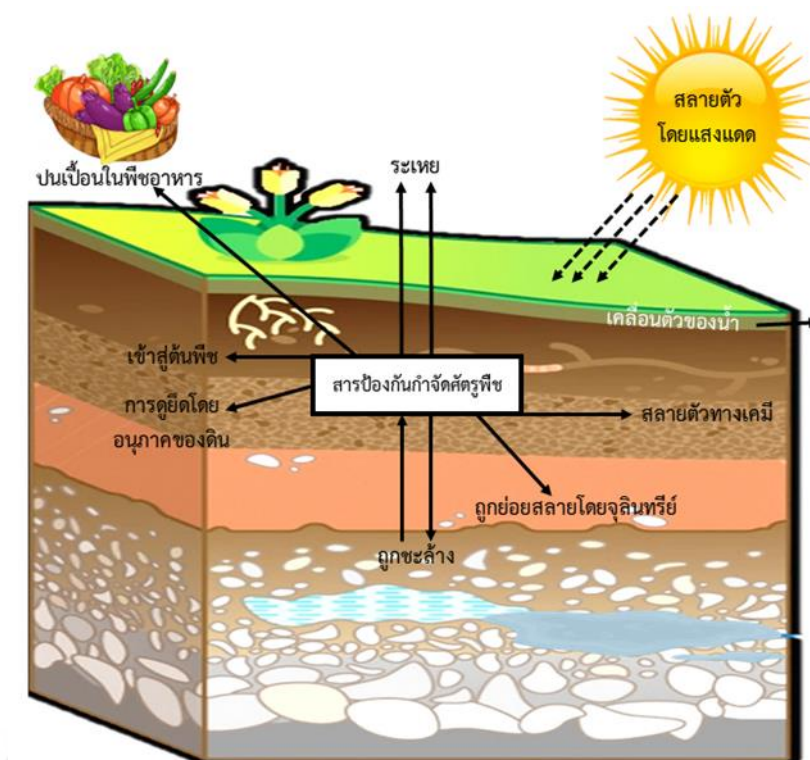
5.4 กลุ่ม 3 (Slightly Hazardous) สารเคมีในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษค่อนข้างต่ำ ปริมาณที่ทำให้เสียชีวิตอยู่ระหว่าง 2 ช้อนโต๊ะ ถึง 1 แก้ว ตัวอย่างเช่น Alachlor เป็นต้น

5.5 กลุ่ม 4 สารเคมีในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่ำ ปริมาณที่ทำให้เสียชีวิตอยู่ระหว่าง 2 แก้ว ถึง 1 ขวด ตัวอย่างเช่น Mancozen เป็นต้น

5.6 กลุ่ม 5 เป็นกลุ่มของสารเคมีอื่นๆ ซึ่งรวมถึงสารเคมีที่องค์การอนามัยโลก ยังไม่ได้จัดกลุ่ม และสารเคมีที่ล้าสมัย

ความสัมพันธ์ระหว่างสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกับดิน

กระบวนการที่สำคัญในการศึกษาการสลายตัวของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช หลังจาก ที่สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกลงไปสู่พื้นดินแล้ว สามารถเกิดกระบวนการสลายตัวของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ภาพประกอบ 3) ซึ่งยากที่จะแยกกระบวนการเหล่านี้ออกจากกันอย่างชัดเจน การทำความเข้าใจกระบวนการเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น อัตราการใช้ การเคลื่อนย้าย ความคงตัว เป็นต้น ดังนั้นผู้ที่ใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจะต้องทำความเข้าใจกระบวนการต่าง ๆ ที่มีผลของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช การศึกษาการสลายตัวของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม รวมถึงกำหนดแนวทางการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างเหมาะสมและปลอดภัย การพัฒนาวิธีการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช



ภาพประกอบ 3 กระบวนการศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช
ในสภาพแวดล้อม

ที่มา: Ross และ Lembi (1985)

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง กระบวนการที่โมเลกุลของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเกาะยึดหรือเกาะติดกับพื้นผิวของอนุภาคดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเหนียว (clay) และดินที่มีอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังของซากพืชและซากสัตว์ พื้นผิวดินมักมีประจุลบ สภาพของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่พร้อมใช้งานในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดและปริมาณของคอลลอยด์ในดิน ประจุของอนุภาคสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และปริมาณความชื้นในดิน (ทศพล พรหม, 2560) (Ross & Lembi, 1985)

1. รูปร่างของคอลลอยด์ในดิน (colloids) คอลลอยด์ในดินมีบทบาทสำคัญในการดูดซับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยทั่วไปแล้ว ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีความสามารถในการดูดซับสารได้ดีกว่าดินเหนียว เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีพื้นที่ผิวและประจุลบมากกว่า
2. คุณสมบัติของประจุของสาร (ionization properties) ประจุของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีผลอย่างมากต่อการดูดซับ หากสารมีประจุบวก (cationic) โมเลกุลของสารจะถูก

ดูดติดกับอนุภาคดินที่มีประจุลบได้ดี แต่หากสารมีประจุลบ (anionic) โมเลกุลของสารจะผลักรอกจากอนุภาคดินเหนียว ตัวอย่างเช่น สาร diquat และ paraquat ซึ่งมีประจุบวก จะไม่แสดงกิจกรรมหรืออยู่ในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ในดิน เนื่องจากอนุภาคประจุบวกของสารจะถูกดูดติดกับอนุภาคดินประจุลบ ทำให้สารไม่สามารถเคลื่อนที่หรือทำปฏิกิริยาได้

3. ความชื้นในดิน (soil moisture) ความชื้นในดินมีผลรบกวนการดูดติดโมเลกุลของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวแข่งขันในการเข้ายึดเกาะกับอนุภาคดิน การรบกวนนี้มีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการระเหยของสาร ตัวอย่างเช่น สารในกลุ่ม Thiocarbamate เช่น EPTC เป็นสารที่ระเหยง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการคลุกดินหลังการฉีดพ่นแล้วจึงปลูกพืช เพื่อลดการสูญเสียสารจากการระเหย หากฉีดพ่นในสภาพดินแห้ง สารจะเกาะกับเม็ดดินได้แน่น ลดการสูญเสีย แต่ในสภาพดินที่มีความชื้นสูง (เช่น หลังฝนตกหรือการให้น้ำ) น้ำจะเข้าไปแทนที่โมเลกุลของสาร ทำให้สารระเหยได้ง่าย

การเคลื่อนย้าย (movement) ความสามารถในการเคลื่อนย้ายของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในดินขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างสารกับสารละลายในดินและสารละลายในน้ำ โดยทั่วไป การศึกษาการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดศัตรูพืชในดินสามารถศึกษาได้จาก 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ การระเหย และการเคลื่อนย้ายของน้ำ (Zimdahl, 2007)

1. การระเหย (volatilization) คือการเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพของสารจากของเหลวหรือของแข็งไปเป็นก๊าซ ศักยภาพในการระเหยของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชสามารถประเมินได้จากความดันไอ (vapor pressure) การเคลื่อนย้ายผ่านการระเหยสามารถช่วยให้สารกระจายตัวลงสู่ดินได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้สารแทรกซึมลงในดินและพืชสามารถดูดซึมสารที่ระเหยนั้นผ่านทางส่วนรากที่อยู่ใต้ดิน

2. การเคลื่อนย้ายของน้ำ (water movement) น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของสารกำจัดศัตรูพืชลงสู่ดิน นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายของน้ำ ได้แก่ การไหลบ่า การชะล้าง และปฏิกิริยาช่องว่างในดิน

2.1 การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน (surface runoff) การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารไปยังบริเวณผิวดินรอบนอกพื้นที่เป้าหมาย การไหลบ่าของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชมักเกิดขึ้นเมื่อมีฝนตกหนัก ก่อนที่สารจะมีการเปลี่ยนแปลงและเคลื่อนย้ายลงสู่ดิน

2.2 การถูกชะล้าง (leaching) การถูกชะล้างเป็นการเคลื่อนย้ายสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยมีน้ำเป็นตัวกลางช่วยให้สารเคลื่อนที่ผ่านลงไปในชั้นดินต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีการหลัก

ในการลำเลียงสารไปยังส่วนใต้ดินของพืช การชะล้างของสารจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ ความสัมพันธ์กับ สารละลายในดินลดลง ขนาดโมเลกุลของสารลดลง ความสามารถในการละลายในน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่ง ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อระดับความสามารถในการเคลื่อนย้ายของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิด ในดิน

2.3 ปฏิริยาช่องว่างในดิน (capillary action) ปฏิริยาช่องว่างในดินคือ การเคลื่อนย้ายของน้ำผ่านช่องว่างเล็ก ๆ ในดิน โดยผ่านกระบวนการระเหย ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับ การเกษตรที่มีการใช้น้ำแบบเป็นร่อง (furrow irrigation) น้ำจะเคลื่อนที่ขึ้นตามช่องว่างในดินเนื่องจาก แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและอนุภาคดิน รวมถึงแรงดึงดูดของน้ำ

การสลายตัวของสาร (degradation) การสลายตัวของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เป็นกระบวนการที่สำคัญในการลดปริมาณสารพิษในสิ่งแวดล้อม กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับปัจจัย สำคัญต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการใช้สาร สภาพแวดล้อม สัมพรรคภาพในการจับตัวกับอนุภาคดิน และ ปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน (ทศพล พรหม, 2560)

1. อัตราการใช้สาร (dosage) อัตราการใช้สารมีผลโดยตรงต่อระยะเวลาใน การสลายตัวหรือการกระจายตัว (dissipation) ของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช การใช้สารในอัตรา ที่สูงจะใช้เวลานานกว่าในการสลายตัวเมื่อเทียบกับการใช้สารในอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีปริมาณ สารที่ต้องสลายตัวมากกว่า

2. สภาพแวดล้อม (environmental conditions) มีปัจจัยที่สำคัญ 2 ชนิดที่เกี่ยวข้อง กับสภาพแวดล้อมได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้น พบว่าในช่วงฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำ จะทำให้มี อัตราการสลายตัวของสารต่ำกว่าในช่วงฤดูร้อน ซึ่งจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ในทางตรงกันข้าม ช่วงที่ มีอุณหภูมิอุ่นและสภาพความชื้นในดินที่สูงขึ้นมาจะช่วยเร่งทำให้มีการสลายตัวของสารได้รวดเร็วขึ้น

3. สัมพรรคภาพในการจับตัวกันของอนุภาคสารละลายในดิน (affinity for binding) สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีการดูดซับกับอนุภาคดินสูง เช่น สาร diquat และ paraquat มักไม่ถูกย่อย สลายโดยจุลินทรีย์ในดินได้ง่าย เนื่องจากสารเหล่านี้ถูกจับยึดไว้กับอนุภาคดิน ทำให้จุลินทรีย์เข้าถึง และย่อยสลายได้ยาก ในทางตรงกันข้าม สารป้องกันกำจัดวัชพืชที่มีการเคลื่อนย้ายได้สูงและถูกชะล้าง ลงไปในชั้นดินที่อยู่นอกเหนือบริเวณที่มีกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน จะมีการสลายตัวในอัตราที่ ค่อนข้างช้าเช่นกัน เนื่องจากขาดปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายคือจุลินทรีย์

4. ปริมาณของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดิน (microbial populations) ความสามารถ ของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่สำคัญ 3 อย่าง คือ ปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีจำนวนมากจะมีผลต่อแหล่งอาหาร การปรับตัวของเอนไซม์ที่

จะมีผลต่อการย่อยสลายของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและการย่อยสลายของสารโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดิน

ความคงทนและผลตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในดิน

ระยะเวลาที่สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอยู่ในดิน คือ สารมีความคงทนในดิน อายุของสารที่ตกค้างในดิน คือ ผลตกค้างของสารในดิน ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่อพืชที่ปลูกร่วมกัน เข้าสู่ต้นพืชและสะสมในพืชอาจเป็นพิษต่อผู้บริโภค เมื่อฉีดพ่นอย่างสม่ำเสมอก่อให้เกิดการสะสมในดินชั้นล่างจนเป็นพิษ และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (ทศพล พรหม, 2560)

ความคงทนของสารในดิน เมื่อสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชถูกใช้ทางดิน หรือสารที่ใช้ทางใบ (foliar-applied pesticide) โมเลกุลของสารอาจมีความคงทน (persistence of pesticide) ในดิน ในช่วงเวลายาวนานแตกต่างกัน ซึ่งความคงทนของสารที่เหลือจะพฤติกรรมต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสีย ได้แก่ การถูกดูดซึม โดยพืชและวัชพืช การระเหยออกจากผิวดิน การสลายตัวโดยแสงแดด หรือปฏิกิริยาทางเคมีในดิน การสลายตัวโดยจุลินทรีย์ในดิน และการชะล้าง เป็นต้น (ศุภามาศ พนิษศักดิ์พัฒนา, 2559)

ตาราง 2 คงทนของสารกำจัดศัตรูพืชบางกลุ่มในดิน

กลุ่มสารกำจัดศัตรูพืช	ความคงทน
ธาตุพิษ (สารหนู, ตะกั่ว,ปรอท)	ตลอดไป
คลอรีนอินทรีย์กำจัดแมลง (ดีดีที, บีเอชซี, ดีลดริน)	2-30 ปี
ไตรอะซีนกำจัดวัชพืช (แอทราซีน, ไชมาซีน)	1-2 ปี
กรดเบนโซอิกกำจัดวัชพืช (อะมิเบน, ไดแคมบา)	2-12 เดือน
ยูเรียกำจัดวัชพืช (โมนูรอน, ไดยูรอน)	2-10 เดือน
ฟีนอกซีซีกำจัดวัชพืช (2,4-ดี, 2,4,5-ดี)	1-5 เดือน
ฟอสเฟตอินทรีย์กำจัดแมลง (มาลาไทออน, คลอร์ไพริฟอส)	1-2 สัปดาห์
คาร์บาเมตกำจัดแมลง	1-8 สัปดาห์
คาร์บาเมตกำจัดวัชพืช	2-8 สัปดาห์

ช่วงความยาวนานคงทนในดินของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ (ทศพล พรหม, 2560) ดังนี้

1. คุณสมบัติของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช สารแต่ละชนิดคุณสมบัติในการคงทนอยู่ในดินได้ยาวนานแตกต่างกัน สารบางชนิดอาจมีความคงทนอยู่ในดินได้ยาวนานมาก ในขณะที่บางชนิดมีความคงทนในดินได้สั้นหรือไม่มี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสาร เช่น สภาพความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการดูดซับกับอนุภาคดิน คุณสมบัติการระเหย รวมทั้งเสถียรภาพ และสภาพหรือรูปของสารที่ใช้ เป็นต้น จึงทำให้เกิดความคงทนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในดินได้ยาวนานแตกต่างกัน

2. ปัจจัยเกี่ยวกับดิน คุณสมบัติของดินที่มีผลต่อความคงทนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในดิน เช่น โครงสร้างของเนื้อดิน อินทรีย์วัตถุ และปฏิกิริยาดิน เป็นต้น กล่าวคือ ดินที่โครงสร้างโปร่งและมีเนื้อดินเป็นพวกทรายจัด อาจทำให้โมเลกุลของสารสูญเสียโดยน้ำที่ชะล้างได้ง่าย ซึ่งเป็นการทำให้ความคงทนในดินของสารลดลง

3. สิ่งมีชีวิตในดิน จุลินทรีย์ต่าง ๆ ในดิน ซึ่งมีหลายชนิดที่สามารถย่อยสลายสารโมเลกุลของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เช่น จุลินทรีย์ พวก *Agrobacterium* จะสามารถย่อยสลายสาร dalapon

4. การเขตกรรม ได้แก่ การเพาะปลูกพืช การเตรียมดิน หรือการจัดการเขตกรรมต่าง ๆ จะมีผลต่อความคงทนในดินของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช กล่าวคือ การเพาะปลูกพืชบางกลุ่มที่มีความทนทานต่อสารชนิดหนึ่ง เมื่อโมเลกุลของสารถูกย่อยสลายในต้นพืช ในกรณีนี้จะทำให้ความคงทนของสารลดลง นอกจากนี้ การเตรียมดินที่ทำให้เกิดการชะล้างลดลง หรือทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลง เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความคงทนของสารแตกต่างกันไป

5. ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ได้แก่ แสงแดด ความชื้นในอากาศ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ กระแสลม เป็นปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดความคงทนของสารในดินแตกต่างกัน ในสภาพดินที่มีแสงแดดจัด อากาศร้อน ลมพัดแรง หรือฝนตกชุก จะมีผลทำให้ความคงทนในดินของสารลดลง ซึ่งปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ช่วยทำให้โมเลกุลของสารสูญเสียหรือสลายตัวไปจากดิน ย่อมทำให้ความคงทนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในดินลดลง

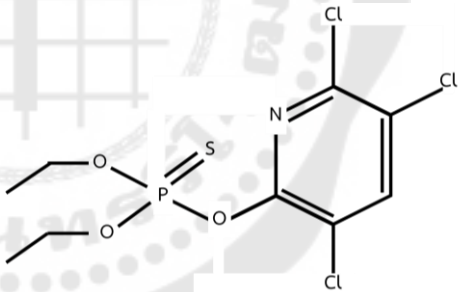
ความคงทนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในดิน โดยทั่วไปสามารถที่จะทำการตรวจสอบได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยทำการตรวจหาปริมาณของสารชนิดนั้นเทียบกับปริมาณเดิมที่ได้ทำการใช้ลงไปในดิน ซึ่งส่วนใหญ่มีนัยยะเป็นปริมาณที่สูญหาย หรือที่มีอยู่ในดินครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ใช้ หรือ 50% หรือ ครึ่งชีวิต (half-life)

สารคลอร์ไพริฟอส

ลักษณะของสารคลอร์ไพริฟอส

คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) เป็นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate compound: OPs) ซึ่งเป็นวัตถุมีพิษทางการเกษตร (pesticides) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 (ค.ศ. 1965) เพื่อกำจัดแมลงและหนอนศัตรูพืชหลากหลายชนิด (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2555) สารคลอร์ไพริฟอสออกฤทธิ์โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส (Inhibiting acetylcholinesterase) ในระบบประสาทของแมลง อย่างไรก็ตาม องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดให้คลอร์ไพริฟอสเป็นสารประกอบที่มีอันตรายเนื่องจากมีหลักฐานว่าการสัมผัสสารนี้โดยตรงสามารถส่งผลกระทบต่อระบบประสาทของมนุษย์และอาจทำให้เกิดภาวะภูมิคุ้มกันต้านทานตนเอง (Autoimmune disorders) ได้ (อภัย ราษฎร์วิจิตร, 2561)

ตาราง 3 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของคลอร์ไพริฟอส

คุณลักษณะ	คำอธิบาย
ชื่อสามัญ	Chlorpyrifos
โครงสร้างทางเคมี	
ชื่อทางเคมี	O,O-diethyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridyl) phosphonothioate
สูตรโมเลกุล	$C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$
น้ำหนักโมเลกุล	350.59 ก./โมล
จุดหลอมเหลว	41-42 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	160 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.398 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ที่ 43.5 องศาเซลเซียส	
ความสามารถในการละลาย	0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส

ตาราง 3 (ต่อ)

คุณลักษณะ	คำอธิบาย
ค่าความดันไอ ที่ 25 องศาเซลเซียส	1.87×10^{-5} มิลลิเมตรปรอท
ค่าสัมประสิทธิ์แยกหรือ พาร์ทิชัน	$3.73 \log K_{oc}$ และ $4.82 \log K_{ow}$
ค่าคงที่ของเฮนรี่ที่ 25 องศาเซลเซียส	1.23×10^{-5} เอทีเอ็ม-ลูกบาศก์เมตรต่อโมล

ความเป็นพิษ

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพืชผักเป็นอันตรายต่อสุขภาพของทั้งเกษตรกรและผู้บริโภค ทั้งมนุษย์และสัตว์ จากรายงานของภาควิชาเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า การได้รับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (OPs) ในปริมาณเพียงเล็กน้อย อาจทำให้เสียชีวิตได้ โดยสาเหตุหลักมาจากการล้มเหลวของระบบหายใจ ซึ่งเกิดจากกลไกต่าง ๆ เช่น กล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้ออินเตอร์คอสทัลไม่สามารถทำงานได้ การกดการทำงานของศูนย์ควบคุมการหายใจในสมอง หลอดลมหดเกร็งจนตีบ และการมีสารคั่งค้างในหลอดลมมากผิดปกติ (ตารางที่ 3) โดยสาร OPs ที่มีพิษมากที่สุดต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมคือ พาราไรดอน และน้อยที่สุดคือ มาลาไรดอน (ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

ตาราง 4 ชนิดและประเภทของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจำแนกตามระดับความรุนแรงในการเกิดพิษจากการศึกษาในมนุษย์

กลุ่มสารออร์กาโนฟอสเฟตจำแนกตามระดับความรุนแรง			
กลุ่ม Ia	กลุ่ม Ib	กลุ่ม II	กลุ่ม III
LD ₅₀ < 5 มก./กก.	LD ₅₀ > 5 มก./กก.	LD ₅₀ 50-500 มก./กก.	LD ₅₀ > 500 มก./กก.
Chlorfenvinphos	Azinphos-ethyl	Chlorpyrifos	Acephate
EPN	Azinphos-methyl	Diazinon	Azamethiphos
Disulfoton	Bromophos-ethyl	Dimethoate	Bromophos
Fonofos	Carbophenothion	Ethion	Malathion

ตาราง 4 (ต่อ)

กลุ่มสารออร์กาโนฟอสเฟตจำแนกตามระดับความรุนแรง			
กลุ่ม Ia	กลุ่ม Ib	กลุ่ม II	กลุ่ม III
LD ₅₀ < 5 มก./กก.	LD ₅₀ > 5 มก./กก.	LD ₅₀ 50-500 มก./กก.	LD ₅₀ > 500 มก./กก.
Mevinphos	Dichlorvor	Etrimfos	Pirimiphos-methyl
Parathion	Fenthion	Fenitritthion	Telradifon
Parathion-methyl	Isazofos	Formothion	Trichlorfon
Phoxim	Isofenphos	Methacrifos	
Sulfotep	Mithamidophos	Naled	
	Monocrotophos	Phenthoate	
	Omethoate	Phosalone	

ที่มา: ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2559)

จากรายงานของ จุฑามาศ สัตยวิวัฒน์ (2562) รวบรวมข้อมูลด้านพิษวิทยาของสารคลอรีไพริฟอสได้ดังนี้ จากการศึกษาเด็กจำนวน 40 คน อายุระหว่าง 5.9-11.2 ปี ซึ่งมารดาได้รับสารคลอรีไพริฟอสระหว่างตั้งครรภ์ โดยวัดระดับสารดังกล่าวในเลือดจากรกของมารดา แบ่งเด็กออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 20 คน คือ กลุ่มที่ได้รับสารคลอรีไพริฟอสในระดับสูง และกลุ่มที่ได้รับในระดับต่ำ การศึกษาลักษณะสมองของเด็กโดยใช้เทคนิค MRI (Magnetic Resonance Imaging) พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างการได้รับสารคลอรีไพริฟอสของมารดาขณะตั้งครรภ์กับการเปลี่ยนแปลงพัฒนาการของสมองเด็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณ Frontal, Parietal และ Lateral temporal ซึ่งเป็นบริเวณสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความจำและสติปัญญา (Rauh et al., 2012) และมีการศึกษาในประเทศเกาหลีที่ศึกษาผลกระทบของสารคลอรีไพริฟอสต่อเด็ก โดยทำการศึกษาในสถานเลี้ยงเด็ก 158 แห่ง ใน 6 เมือง การศึกษาดังกล่าวพิจารณาช่องทางการได้รับสารคลอรีไพริฟอสของเด็ก โดยวิเคราะห์สารในอากาศและฝุ่นภายในห้อง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าช่องทางหลักที่เด็กได้รับสารคลอรีไพริฟอสคือ ทางหายใจเอาสารที่ปนเปื้อนในอากาศ (Kim et al., 2013)

สำหรับการศึกษาในประเทศไทย โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการตรวจวัดการได้รับสัมผัสสารคลอรีไพริฟอสในเด็กจำนวน 53 คน อายุระหว่าง 6-8 ปี โดยใช้วิธีการตรวจวัดสารเมตาโบไลต์ของสารคลอรีไพริฟอสในปัสสาวะ แบ่งเด็กออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่อาศัยอยู่

ในบ้านบริเวณที่ปลูกข้าว จำนวน 24 คน และกลุ่มที่อาศัยอยู่ในชุมชนเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งไม่มีการใช้สารคลอรีนไฟฟอส จำนวน 29 คน ผลการศึกษาพบว่าเด็กที่อาศัยอยู่ในครอบครัวเกษตรกรปลูกข้าว มีสารเมตาโบไลต์ของคลอรีนไฟฟอสในปัสสาวะมากกว่าเด็กที่อยู่ในชุมชนเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมีนัยสำคัญ (Rohitrattana et al., 2014)

การทำงานที่ผิดปกติของไมโตรคอนเดรีย ซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ที่มีหน้าที่สร้างพลังงาน ส่งผลกระทบต่อกระบวนการควบคุมสมดุลของประจุต่าง ๆ ภายในเซลล์ เนื่องจากกระบวนการควบคุมสมดุลนี้ต้องอาศัยปั๊มที่ใช้พลังงาน หากไมโตรคอนเดรียทำงานบกพร่อง การควบคุมสมดุลดังกล่าวก็จะเสียไป จากรายงานผลการทดลองของ (Basha & Poojary, 2014) พบว่า คลอรีนไฟฟอส และสภาวะอุณหภูมิต่ำ ($15-20^{\circ}\text{C}$) ส่งผลให้ไมโตรคอนเดรียทำงานผิดปกติ นำไปสู่ความเสียหายของระบบประสาทและการสูญเสียการควบคุมเมตาบอลิซึมของเซลล์ประสาท โดยบริเวณที่ได้รับความเสียหายมากคือ Cerebellum ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหว และ Medulla oblongata ซึ่งควบคุมระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ นอกจากนี้ การศึกษาในสัตว์ทดลองโดย Lan และคณะ (2017) พบว่า การได้รับคลอรีนไฟฟอสระหว่างตั้งครรภ์ ทำให้เกิดอาการคล้ายออกทิสติกในลูกสัตว์ที่คลอดออกมา โดยคลอรีนไฟฟอสส่งผลให้พฤติกรรมทางสังคมและพฤติกรรมการสำรวจสิ่งแวดล้อมของสัตว์บกพร่องไป การได้รับคลอรีนไฟฟอสแบบเฉียบพลันยังก่อให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) และเป็นพิษต่อเซลล์ประสาทบริเวณ Striatum ซึ่งควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Dominah, McMinimy, Kallon, & Kwakye, 2017) นอกจากนี้ ยังพบสารคลอรีนไฟฟอสทำให้เกิดอาการคล้าย Parkinson's disease ในสัตว์ทดลอง อีกทั้งคลอรีนไฟฟอสเพิ่มความเสี่ยงและกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่และทวารหนัก เป็น 2.7 เท่า (95% confidence interval 1.2–6.4) (Deveci & Karapehlivan, 2018) โดยมีกลไกการออกฤทธิ์ผ่าน Epidermal Growth Factor Receptor EGFR (EGFR/ERK signaling pathway) (Ventura et al., 2016)

ตาราง 5 ความเป็นอันตรายทางสุขภาพ (Health Hazard)

ประเภท ความเป็นอันตราย	คำอธิบาย	รูปสัญลักษณ์	รหัสและข้อความแสดง ความเป็นอันตราย
Acute Tox. 3	ความเป็นพิษเฉียบพลัน ประเภทย่อย 3		H301 เป็นพิษเมื่อกลืนกิน เข้าไป (Toxic if swallowed)

ที่มา: ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ม.ป.ป.)

พิษนิเวศวิทยา

สารคลอร์ไพริฟอสเป็นสารที่ใช้ฉีดพ่นแบบละอองสเปรย์บนพืช ผักและผลไม้ จึงสามารถตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อมได้ ประเทศไทยมีการควบคุมปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (maximum residue limit for pesticide; MRL) ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9002-2559 กำหนดค่ามาตรฐานของสารคลอร์ไพริฟอส ได้แก่ น้ำมันปาล์ม เมล็ดถั่วลิสง มะพร้าว ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กระเจียวเขียว ข้าวเปลือก เถาะ ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลำไย ไม่เกิน 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นต้น สำหรับสหภาพยุโรปกำหนดมาตรฐานสารตกค้างสูงสุดของคลอร์ไพริฟอสและคลอร์ไพริฟอสเมทิลในพืชผลทางการเกษตรอยู่ที่ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (EPA, 2021)

สารคลอร์ไพริฟอสที่ลงสู่ดินหรือที่เคลื่อนย้ายจากสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิตในดิน จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดิน ค่าเฉลี่ยของครึ่งชีวิตในการย่อยสลายในดินที่ทำในห้องทดลองอยู่ที่ 63 วัน และในพื้นที่เพาะปลูกอยู่ที่ 1-14 วันสำหรับสารตกค้างที่อยู่ผิวหน้าดิน ที่ 30-60 วันสำหรับสารตกค้างในชั้นดินที่ลึกลงไป การประเมินคุณสมบัติของคลอร์ไพริฟอสในร่างกายมีคุณสมบัติการเสื่อมสลายช้าหรือการสะสมในร่างกาย โดยที่ครึ่งชีวิตในการขจัดออก (elimination half-lives) พบว่าอยู่ที่ 14 ถึง 53 ชั่วโมง (สุเทพ สหายา, 2561)

สารคลอร์ไพริฟอสที่ปนเปื้อนในดินยังส่งผลต่อน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินและอาจเคลื่อนย้ายโดยการพัดพาโดยลม ถูกชะล้างด้วยน้ำ เกาะติดกับฝุ่นละออง ลงสู่แหล่งน้ำตกค้างในตะกอนดินในน้ำ เนื่องจากตะกอนดินสามารถดูดซับคลอร์ไพริฟอสได้ (Chambers & Levi, 1992) ส่งผลให้เป็นอันตรายต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำ มีการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของคลอร์ไพริฟอสในน้ำและตะกอนดินต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทางน้ำ ได้แก่ ไรน้ำแดง (Moina micrura Kurz) และ

หนอนแดง (*Chironomus striatipennis* Kieffer) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศ โดยผลการศึกษาค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน (LC50) พบว่า ค่า 48h-LC50 ของคลอรีไพริฟอสในน้ำต่อไร้น้ำแดงอยู่ที่ 0.195 (0.075–0.495) µg/L และต่อหนอนแดงวัยที่สองอยู่ที่ 25.104 (14.61–40.67) µg/L สำหรับตะกอนดินท้องน้ำเทียม ค่า 96h-LC50 อยู่ที่ 0.096 (0.032–0.297) µg/kg และในตะกอนดินธรรมชาติ ค่า 96h-LC50 เท่ากับ 0.023 (0.0016–0.0125) µg/kg ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าคลอรีไพริฟอสมีความเป็นพิษเฉียบพลันในระดับสูงต่อไร้น้ำแดงและหนอนแดง เมื่อเทียบกับสารแคดเมียม (Atcharaporn, Barry, & Chuleemas, 2012) รวมทั้งเป็นมีพิษร้ายแรงต่อผึ้ง (highly toxic) มีค่าความเป็นพิษเฉียบพลันน้อยกว่า 2 ไมโครกรัมต่อผึ้ง 1 ตัว (acute LD50 < 2 µm/bee) จึงห้ามใช้ในระยะที่พืชมีดอกกำลังบาน (สุเทพ สหยา, 2561) และมีความเป็นพิษต่อตัวห้ำและตัวเบียนที่เป็นแมลงกินแมลงเป็นอาหาร ซึ่งเป็นประโยชน์ในการควบคุมจำนวนประชากรของแมลงศัตรูพืช (กิตตินัย อัสวเลิศลักษณ์, 2566)

ตาราง 6 ความเป็นอันตรายทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Hazard)

ประเภทความเป็นอันตราย	คำอธิบาย	รูปสัญลักษณ์	รหัสและข้อความแสดงความเป็นอันตราย
Aquatic Acute 1	ความเป็นอันตรายเฉียบพลันต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำ ประเภทย่อย 1		H400 เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Very toxic to aquatic life)
Aquatic Chronic 1	ความเป็นอันตรายระยะยาวต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำ ประเภทย่อย 1		H410 เป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และมีผลกระทบระยะยาว (Very toxic to aquatic life with long lasting effects)

ที่มา: ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ม.ป.ป.)

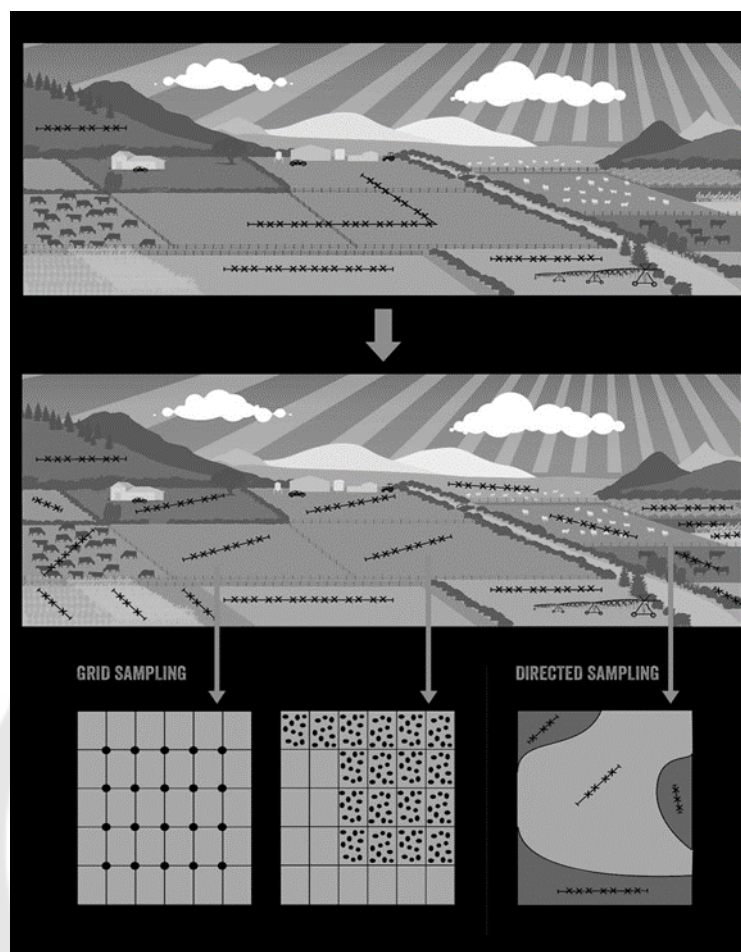
การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์

วิธีการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดินมีอยู่ 2 วิธีการหลัก ได้แก่ การเก็บตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนของพื้นที่หนึ่ง ๆ แล้วนำค่าวิเคราะห์ดินมาหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่นั้น ๆ (Field Average Sampling) และการเก็บตัวอย่างดินอย่างละเอียดเพื่อแจกแจงถึงความผันแปรของค่าวิเคราะห์ดินที่หลากหลายในพื้นที่หนึ่ง ๆ (Sampling to describing spatial variability in soil test value) (อรรณณ ฉัตรศรีรุ่ง, 2551)

1. การเก็บตัวอย่างดินแบบ Field Average Sampling เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและถือปฏิบัติกันมานาน โดยการเก็บตัวอย่างในพื้นที่แปลงกว้างจะทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็น ส่วน ๆ (sampling units) ตามความแตกต่างของลักษณะพื้นที่ โดยที่ในแต่ละส่วนมีลักษณะสม่ำเสมอ ตัวอย่าง เช่น พื้นที่หนึ่ง ๆ มีความแตกต่างกันมาก คือ มีความลาดชันต่างกัน ลักษณะสีดินต่างกัน และการจัดการดินที่ผ่านมาต่างกัน เป็นต้น ดังนั้นสามารถแบ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นส่วน ๆ ตามความแตกต่างกัน โดยในแต่ละส่วนหรือ sampling units จะสุ่มเก็บตัวอย่างจากหลาย ๆ จุดในพื้นที่ส่วนนั้น ๆ อย่างน้อย 15 - 40 ตัวอย่าง แล้วจึงนำมารวมเป็นตัวอย่างผสม (composite sample) โดยทำการผสมดินแต่ละจุดที่เก็บมาจากส่วนเดียวกันให้เข้ากันอย่างดีแล้วจึงแบ่งออกมาวิเคราะห์ ดังนั้นแต่ละ sampling units จะมี 1 composite sample

2. การเก็บตัวอย่างดินแบบ Grid Sampling ซึ่งจะเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ประมาณ 5 ถึง 7.5 ไร่ โดยแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเท่า ๆ กันตลอดพื้นที่ การเก็บตัวอย่างดินสำหรับพืชที่ต้องการไนโตรเจนสูง เช่น ข้าวโพด ขนาดของแต่ละ grid จะมีขนาดประมาณ 60 x 60 เมตร 90 x 90 เมตร สำหรับพืชอื่น ๆ ขนาดประมาณ 120 x 120 เมตร การลดขนาดของ grid จะเพิ่มตัวอย่างดินและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ แต่สามารถอธิบายการกระจายของธาตุอาหารในดินได้ถูกต้องและเป็นจริงมากขึ้น



ภาพประกอบ 4 รูปแบบการเก็บตัวอย่างดิน

ที่มา: Current Soil Sampling Methods (Dawson & Knowles, 2018)

ระดับความลึกของการเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินมีความสำคัญในการศึกษาคุณสมบัติของดินในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา เพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน การเก็บตัวอย่างดินจึงต้องพิจารณาถึงระดับความลึกที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ (ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

1. การเก็บตัวอย่างดินจากระดับตื้น การเก็บตัวอย่างดินจากระดับความลึกไม่เกิน 0.3 เมตร (หรือ 30 เซนติเมตร) ซึ่งเป็นระดับความลึกที่รากพืชส่วนใหญ่อยู่ และเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการใช้สารเคมี กิจกรรมทางการเกษตร หรือกิจกรรมอื่น ๆ บนผิวดินโดยตรง การเก็บตัวอย่างดินในระดับนี้สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ทั่วไปที่หาได้ง่าย เช่น จอบ เสียม พลั่ว ช้อนตักดิน

และหัวเจาะดิน (Soil Probe) เป็นต้น เหมาะสำหรับการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับดิน เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณสารอินทรีย์ หรือการปนเปื้อนของสารเคมีในระดับผิวดิน

2. การเก็บตัวอย่างดินในระดับความลึกระหว่าง 0.3–2.0 เมตรมักใช้อุปกรณ์ประเภท Hand Auger ซึ่งสามารถเพิ่มความยาวของด้ามจับได้ ขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการเจาะดินลงไปจนถึงระดับความลึกที่กำหนด จากนั้นจึงดึง Auger ขึ้นมา ตัวอย่างดินสามารถเก็บได้โดยตรงจาก Auger แต่หากต้องการเก็บตัวอย่างดินในรูปแท่ง (Core Sample) อาจเปลี่ยนอุปกรณ์เป็น Thin-wall Tube Sampler ซึ่งจะถูกหย่อนลงในหลุมที่เจาะไว้เพื่อเก็บตัวอย่างดิน โดยดินในรูปแท่งจะถูกนำขึ้นมาพร้อมกับ Thin-wall Tube Sampler วิธีการนี้เหมาะสำหรับการศึกษาลักษณะของชั้นดิน (Soil Profile) หรือการวิเคราะห์คุณสมบัติดินในระดับลึก เช่น ความสามารถในการกักเก็บน้ำและการเคลื่อนที่ของสารในดิน

3. สำหรับการเก็บตัวอย่างดินที่ลึกกว่า 2.0 เมตร มักใช้อุปกรณ์ Split Barrel Sampler ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างดินในลักษณะแท่งต่อเนื่องได้ความยาวประมาณ 45–60 เซนติเมตร การเก็บในระดับลึกนี้อาจเริ่มด้วยการใช้อุปกรณ์ขุดเจาะ เช่น Auger เพื่อเจาะนำร่องไปยังความลึกที่ต้องการ จากนั้นเปลี่ยนมาใช้ Split Barrel Sampler เพื่อเก็บตัวอย่างดิน วิธีนี้เหมาะสำหรับการศึกษาทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา หรือการสำรวจแหล่งน้ำบาดาล

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

สิริพร กลมธรรม ได้ให้ความหมายไว้ว่า เป็นระบบที่รวมเอาข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ากับระบบฐานข้อมูลและเครื่องมือวิเคราะห์ เพื่อให้สามารถเข้าใจ วิเคราะห์ และนำข้อมูลเชิงพื้นที่ไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจและการวางแผนในด้านต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สิริพร กลมธรรม, 2559)

Howari และ Ghrefat (2021) ได้ให้ความหมายไว้ว่า เป็นเครื่องมือในการประมวลผลข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับภูมิศาสตร์ โดยบูรณาการข้อมูลทางภูมิศาสตร์อย่างหลากหลาย รวมถึงการรวบรวม จัดการข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยรวบรวมข้อมูลจากเครื่องมือการรับรู้จากระยะไกลและระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก จากนั้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะวิเคราะห์โดยการรวมหรือการแยกชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ระบบที่รวบรวมและนำเข้าจัดการ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูล โดยเชื่อมต่อข้อมูลกับแผนที่อย่างเป็นระบบ โดยผสมผสานข้อมูล

เชิงตำแหน่งกับข้อมูลเชิงคุณลักษณะ เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจรูปแบบ ความสัมพันธ์ และบริบททางภูมิศาสตร์ รวมถึงเป็นการจัดการและสนับสนุนการตัดสินใจให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

องค์ประกอบหลักของ GIS ประกอบด้วย 5 ส่วน ได้แก่ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โปรแกรม ขั้นตอนการทำงาน ข้อมูล และบุคลากร โดยมีรายละเอียดดังนี้ (สุเพชร จิรขจรกุล, 2555)

1. อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (hardware) คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบที่สนับสนุนกระบวนการสร้างฐานข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ รวมถึงอุปกรณ์อ่านและบันทึกค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ได้แก่ เครื่องกราดภาพ จีพีเอส ดีจีไทเซอร์ กล้องบันทึกภาพหรือวิดีโอ และเครื่องพิมพ์

2. โปรแกรม (software) คือ โปรแกรมหรือชุดคำสั่งที่สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามรูปแบบ เพื่อจัดการข้อมูลให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น โปรแกรม Microsoft word, Microsoft excel, ArcGIS, Quantum GIS เป็นต้น

3. ข้อมูล (data) คือ เท็จจริงและสถิติที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ ซึ่งได้มาจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ และถูกนำมาเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อนำเสนอในรูปแบบแผนที่และข้อมูลสถิติ และนำไปประมวลผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจในด้านต่าง ๆ

4. ขั้นตอนวิธีการ (methodology) คือ ขั้นตอนการทำงานในด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เกี่ยวข้องกับวิธีการในการจัดเตรียมฐานข้อมูล การนำเข้าสู่ระบบ การจัดเก็บบันทึกข้อมูล การแสดงผลแผนที่ และการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละหน่วยงาน

5. บุคลากร (people) คือ ผู้ที่มีหน้าที่จัดการองค์ประกอบทั้งหมด สามารถทำงานประสานกันจนได้ผลลัพธ์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในรูปแบบของข้อมูลและผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ

การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ขั้นตอนการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก โดยแสดงรายละเอียดดังนี้ (ปรัชญา อารีกุล, 2555)

1. การนำเข้าข้อมูล (Data input) ขั้นตอนนี้เป็นการแปลงข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ให้อยู่ในรูปแบบที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถนำไปใช้งานได้ ข้อมูลภูมิศาสตร์ที่มีอยู่แล้วอาจอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แผนที่ ตาราง รูปภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายดาวเทียม การนำเข้าข้อมูลสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1.1 การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) สามารถนำเข้าได้หลายวิธี เช่น การใช้ Digitizing table การป้อนข้อมูลผ่านคีย์บอร์ด การสแกนแผนที่ และการแปลงค่าพิกัดทาง

ภูมิศาสตร์ที่ได้จากเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) เมื่อพิจารณาตามรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลในระบบ จะสามารถแบ่งลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ 2 ประเภท ได้แก่

1.1.1 ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector data) มีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลโดยอาศัยหลักการคณิตศาสตร์เวกเตอร์ คือ เก็บข้อมูลที่จะจุดหรือตำแหน่ง ในแต่ละตำแหน่งจะประกอบด้วยพิกัด X และ Y พร้อมทั้งข้อมูลทิศทาง โดยลักษณะตัวแทนข้อมูลเวกเตอร์ สามารถแสดงด้วย จุด (point) เส้น (line) พื้นที่รูปปิด (polygon) ดังนี้

1) จุด (Point) ถือเป็นหน่วยข้อมูลที่เล็กที่สุด มีลักษณะเป็นตำแหน่งเฉพาะเจาะจงบนพื้นผิวโลก โดยมีค่าพิกัดเพียงคู่เดียว ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งเริ่มต้น ไม่มีทิศทางและระยะทาง จึงถือว่ามีมิติเป็นศูนย์ จุดถูกใช้เป็นตัวแทนในการแสดงตำแหน่งของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากจนไม่จำเป็นต้องแสดงรูปร่างหรือขนาด เช่น ที่ตั้งของสถานที่หรือตำแหน่งต้นไม้ จุดมักจะมาพร้อมกับข้อมูลคุณลักษณะที่อธิบายรายละเอียดของตำแหน่งนั้น ๆ เช่น จุดที่แทนโรงเรียน อาจมีข้อมูลคุณลักษณะ เช่น ชื่อโรงเรียน ที่อยู่ จำนวนนักเรียน หรือเบอร์โทรศัพท์ การเชื่อมโยงจุดกับข้อมูลคุณลักษณะนี้ทำให้สามารถวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

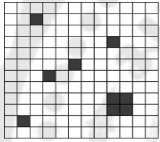
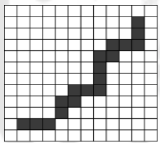
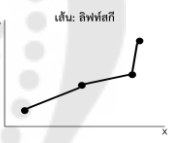
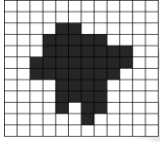
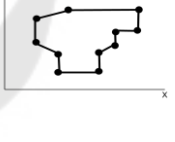
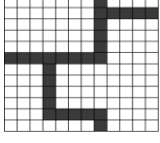
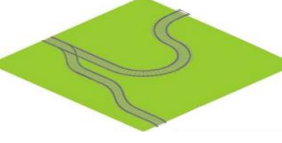
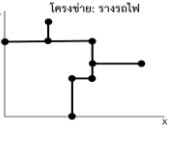
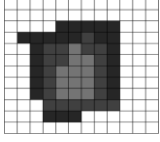
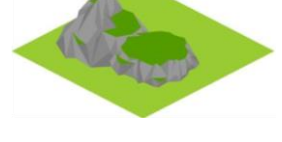
2) เส้น (Line) คือชุดของจุด (Point) ที่เรียงต่อกันเป็นลำดับ ทำให้เกิดเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง เส้นถือเป็นวัตถุที่มีเพียงหนึ่งมิติ (1 มิติ) คือ มีความยาวหรือระยะทาง แต่ไม่มีความกว้างหรือความหนา เส้นในข้อมูลเวกเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ เส้นตรง (Straight Line หรือ Line Segment) ซึ่งเกิดจากจุดสองจุดเชื่อมต่อกันด้วยเส้นตรง และเส้นโค้ง (Curve หรือ Arc) ซึ่งเกิดจากจุดหลายจุดเชื่อมต่อกันด้วยเส้นโค้ง

3) พื้นที่รูปปิด (Polygon) คือ รูปทรงเรขาคณิตสองมิติที่แสดงถึงขอบเขตของพื้นที่ เกิดจากการเชื่อมต่อจุดหลายจุดเรียงต่อกันเป็นลำดับ ทำให้เกิดเป็นเส้นรูปปิดที่ล้อมรอบพื้นที่อย่างสมบูรณ์ ทำให้สามารถคำนวณขนาดพื้นที่และเส้นรอบรูปได้ ถูกใช้เป็นตัวแทนของวัตถุที่มีขอบเขตบนพื้นผิวโลก เช่น ขอบเขตการปกครอง แปลงที่ดิน แหล่งน้ำ พื้นที่ป่าไม้ หรืออาคาร เป็นต้น

1.1.2 ข้อมูลราสเตอร์ (Raster data) คือข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีลักษณะการจัดเก็บเป็นตารางกริดหรือช่องสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากัน เรียกว่า จุดภาพ (Pixel) หรือ กริดเซลล์ (Grid cell) เรียงต่อเนื่องกันในแนวราบและแนวดิ่ง (แถวและคอลัมน์) แต่ละจุดภาพเก็บค่าได้เพียงค่าเดียว ซึ่งใช้แทนพื้นที่และวัตถุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก โครงสร้างข้อมูลแบบราสเตอร์จัดเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการกำหนดค่าข้อมูลจากพื้นที่จริงลงในแต่ละจุดภาพที่มีตำแหน่งตามแนวแกน X และ Y ค่าที่เก็บในแต่ละจุดภาพสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณลักษณะโดยตรง เช่น ค่าความสูง อุณหภูมิ

หรือความเข้มของสี หรือเป็นรหัสที่ใช้อ้างอิงถึงข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่จัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูลภายนอก ตัวอย่างข้อมูลแรสเตอร์ที่พบได้ทั่วไป เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพสแกนแผนที่ และแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM)

1.2 การนำเข้าข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute data) กระบวนการนำข้อมูลที่อธิบายคุณสมบัติ รายละเอียด หรือลักษณะเฉพาะของข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์เข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลเชิงคุณลักษณะเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้ตัวระบุเฉพาะ (Unique Identifier) เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลในตารางคุณลักษณะกับวัตถุเชิงพื้นที่ เช่น จุดที่แทนโรงเรียน อาจมีข้อมูลเชิงคุณลักษณะ เช่น ชื่อโรงเรียน (ข้อมูลเชิงคุณภาพ) จำนวนนักเรียน (ข้อมูลเชิงปริมาณ) ที่อยู่ (ข้อมูลเชิงคุณภาพ) และเบอร์โทรศัพท์ (ข้อมูลเชิงคุณภาพ) เป็นต้น

ข้อมูลภูมิศาสตร์	ข้อมูลแรสเตอร์	ข้อมูลเวกเตอร์
		
		
		
		
		

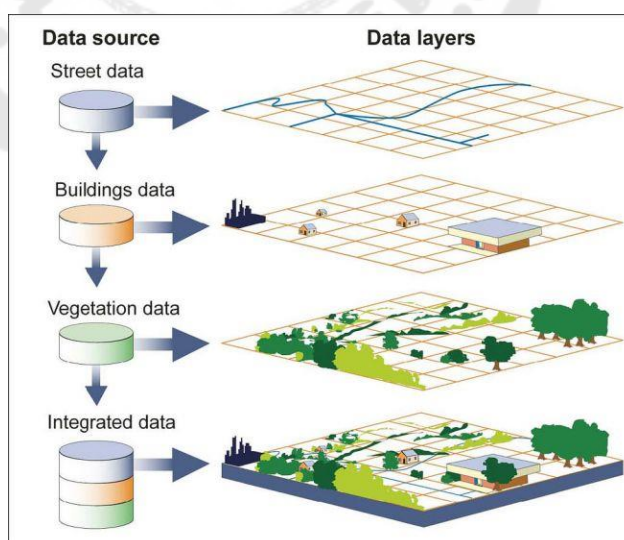
ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างเปรียบเทียบข้อมูลแรสเตอร์กับเวกเตอร์

ที่มา: Introduction to GIS (Department of Geography, 2015)

2. การปรับแต่งข้อมูล (Data manipulation) ข้อมูลที่ได้รับเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบหรือตรวจแก้ข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้อง เช่น การแก้ไขความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการลอกลายแผนที่ การซ้อนทับการของจุดหรือเส้นในตำแหน่งเดียวกัน รวมถึงการปรับแต่งข้อมูลให้เหมาะสมกับงาน เช่น ขนาดของข้อมูลหรือมาตราส่วนของแผนที่แตกต่างกัน หรือใช้ระบบแผนที่ที่แตกต่างกัน ข้อมูลเหล่านี้จะต้องได้รับการปรับแต่งให้อยู่ในระดับเดียวกัน (สรวิศ ใจ กลิ่นดาว, 2542)

3. การจัดการข้อมูล (Data management) การจัดเก็บข้อมูลจากฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ ประกอบด้วยข้อมูล จุด เส้น และพื้นที่รูปปิด ข้อมูลดังกล่าวจะถูกจัดเก็บโดยอ้างอิงจากค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ การจัดเก็บและจัดการการฐานข้อมูล (Database) นิยมใช้โครงสร้างโครงสร้างตามหลักการของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational database) โดยข้อมูลจะถูกจัดเก็บในรูปแบบตารางหลาย ๆ ตาราง เพื่อประโยชน์ต่อการเรียกใช้ข้อมูลได้สะดวกและรวดเร็ว (สรวิศ ใจ กลิ่นดาว, 2542)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) เป็นกระบวนการที่ปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งสารสนเทศ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสามารถในการนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่หลาย ๆ ชั้นข้อมูลมาซ้อนทับกันเพื่อทำการวิเคราะห์และกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์หรือตามแบบจำลองผลที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นอีกหนึ่งชั้นข้อมูลที่มีลักษณะแตกต่างกันไปจากชั้นข้อมูล (สรวิศ ใจ กลิ่นดาว, 2542)



ภาพประกอบ 6 การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ที่มา: Introduction to GIS (Department of Geography, 2015)

5. การนำเสนอข้อมูล (Data output) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบของตาราง คำบรรยาย กราฟ แผนที่ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถแปลงสู่ระบบการทำงานในโปรแกรมอื่น ๆ การส่งออกผลลัพธ์ในลักษณะของไฟล์แบบรูปภาพ (.jpg) หรือการส่งออกในลักษณะของไฟล์แบบข้อความ (.txt) เป็นต้น (สรวิชัย กลิ่นดาว, 2542)

การวิเคราะห์หลายปัจจัย

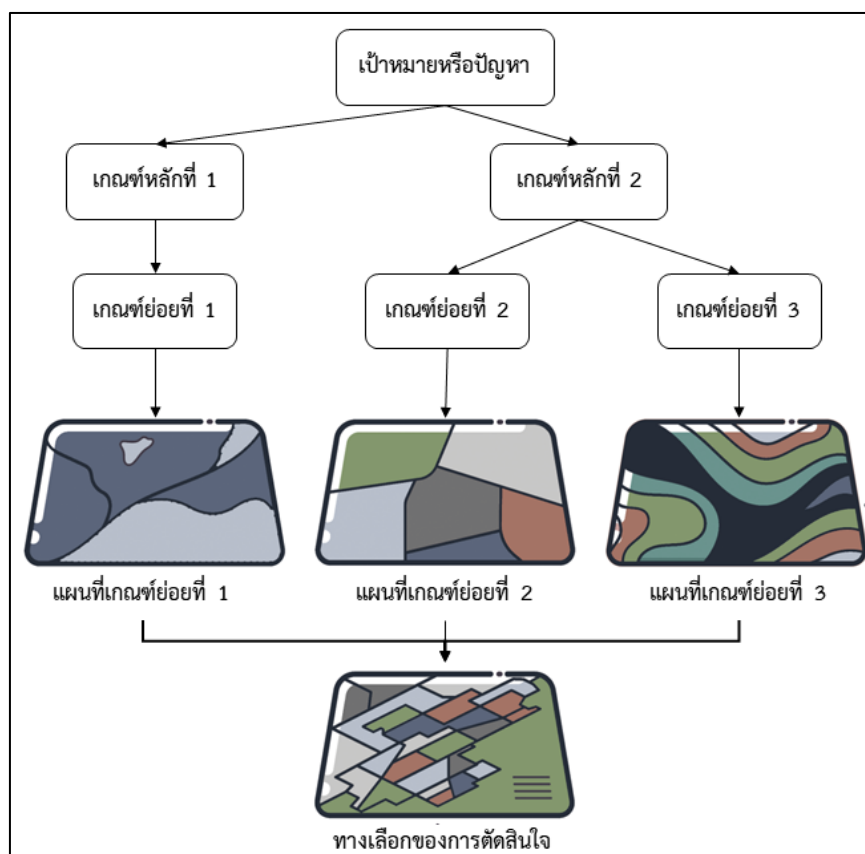
การวิเคราะห์หลายปัจจัยและการจัดลำดับความสำคัญเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยการตัดสินใจ ซึ่งการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making: MCDM) เป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อน โดยการแยกแยะองค์ประกอบของปัญหาให้เข้าใจง่ายขึ้น หนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมคือ กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ซึ่งคิดค้นโดย Thomas L. Saaty ในปี ค.ศ. 1970 เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ โดยเลียนแบบความคิดของมนุษย์ในการเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความคลุมเครือในการตัดสินใจของมนุษย์ยังคงมีอยู่ จึงมีการนำทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ AHP เพื่อให้สามารถตัดสินใจได้ใกล้เคียงกับความคิดที่คลุมเครือของมนุษย์ได้มากขึ้น ทำให้การวิเคราะห์มีความยืดหยุ่นและสะท้อนความเป็นจริงได้ดียิ่งขึ้น (เมทินี จงไพฑูริย์, 2558)

กระบวนการลำดับชั้นการวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP)

1. กระบวนการลำดับชั้นการวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) เป็นวิธีการที่ช่วยเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณภาพที่ยากต่อการวัดเชิงปริมาณให้สามารถประเมินได้ในรูปเชิงปริมาณ โดยใช้มาตราส่วนที่กำหนดขึ้นเพื่อให้ได้คำตอบที่มีเหตุผลและสอดคล้องกับความเป็นจริง ขั้นตอนแรกคือการกำหนดเป้าหมายและจัดโครงสร้างปัญหาให้อยู่ในรูปแบบแผนภูมิลำดับชั้น (hierarchy) โดยเริ่มจากเกณฑ์หลักที่สำคัญที่สุด ลงสู่เกณฑ์รอง และจบที่ทางเลือก (alternatives) ซึ่งช่วยให้ผู้วิเคราะห์มองเห็นภาพรวมของปัญหาอย่างครบถ้วน และสามารถเปรียบเทียบทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้อย่างเป็นระบบ การดำเนินการในกระบวนการ AHP มีขั้นตอนสำคัญ 3 ประการ ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้การตัดสินใจมีความแม่นยำและเป็นเหตุเป็นผลมากยิ่งขึ้น (วิฑูรย์ ดันศิริคงคล, 2542)

เป็นกระบวนการแบ่งปัญหาใหญ่ออกเป็นส่วนย่อย ๆ และจัดเรียงในรูปแบบแผนภูมิโครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchy Structure) โดยในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้น ระดับบนสุดของแผนภูมิแทนเป้าหมายหลัก (Overall Goal) ซึ่งเป็นปัจจัยเดียวที่สำคัญที่สุด ระดับถัดมาจะประกอบด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย โดยปัจจัยในระดับเดียวกันควรมีความสำคัญใกล้เคียงกัน หากปัจจัยบางอย่างมีความสำคัญแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ควรจัดปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยกว่าไว้ในระดับถัดไป เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำและสมเหตุสมผล ตัวอย่างแผนภูมิโครงสร้าง AHP ช่วยให้เห็นลำดับความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อเป้าหมายหลักได้อย่างชัดเจน และช่วยสนับสนุนการวิเคราะห์ในเชิงเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องแสดงดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แผนภูมิขั้นโครงสร้าง

ที่มา GIS-based multicriteria decision analysis (Malczewski, 2006)

2. การกำหนดลำดับความสำคัญ (Prioritization) โดยการเปรียบเทียบความสัมพันธ์แบบคู่ (Pairwise Comparisons) ของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจในแต่ละระดับชั้น ด้วยการใช้หลักการ Principle of Hierarchic Composition การวินิจฉัยในกระบวนการนี้จะนำเสนอในรูปแบบมาตราส่วนระดับความพึงพอใจที่ใช้ตัวเลข 1 ถึง 9 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ในแต่ละระดับ นอกจากการช่วยในการอธิบายการเปรียบเทียบตารางเมตริกซ์ยังสามารถใช้ในการทดสอบความสอดคล้องของการวินิจฉัยและการวิเคราะห์

ความอ่อนไหวของลำดับความสำคัญเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการวินิจฉัย ผู้วินิจฉัยจะกำหนดมาตราส่วนที่แสดงระดับความเข้มข้นของความสำคัญในแต่ละคู่เปรียบเทียบ โดยตัวเลข 1 ถึง 9 จะมีความหมายเฉพาะในแต่ละระดับที่สอดคล้องกับลำดับความสำคัญของเกณฑ์ในปัญหานั้น ๆ แสดงดังตารางที่ 7

ตาราง 7 มาตราส่วนที่ใช้ในการเปรียบเทียบความสำคัญ

ระดับความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน (Equal importance)	ปัจจัยทั้งสองที่กำลังพิจารณาเปรียบเทียบมีความสำคัญเท่าเทียมกัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง (Moderate importance)	ปัจจัยตัวหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก (Strong importance)	ปัจจัยตัวหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด (Very strong importance)	ปัจจัยตัวหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยมากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด (Extreme importance)	ปัจจัยตัวหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยสูงสุด
2,4,6,8	ค่าความสำคัญระหว่างกลางของค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น	ค่าความสำคัญของการเปรียบเทียบปัจจัยถูกพิจารณาว่าควรเป็นค่าระหว่างกลางของค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น

ที่มา: The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. (Saaty, 1980)

การสร้างเมตริกซ์เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ เป็นคู่ ๆ คือการประเมินว่าปัจจัยหนึ่งมีความสำคัญมากกว่า น้อยกว่า หรือเท่ากับอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อเกณฑ์หรือปัจจัยในระดับที่สูงกว่าอย่างไร โดยผลการเปรียบเทียบจะถูกบันทึกในเมตริกซ์ ดังตารางที่ 8

ตาราง 8 การเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยภายใต้วัตถุประสงค์ของปัญหา

เกณฑ์หรือปัจจัย	ปัจจัย 1	ปัจจัย 2	ปัจจัย ...	ปัจจัย m	น้ำหนักของปัจจัย
ปัจจัย 1	1	A_{12}	...	A_{1m}	W_1^0
ปัจจัย 2	A_{21}	1	...	A_{2m}	W_2^0
ปัจจัย ...	...	...	...	...	...
ปัจจัย m	A_{m1}	A_{m2}	...	1	W_m^0

หมายเหตุ: A_{ij} เป็นค่าลำดับความสำคัญของปัจจัย i เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัย j ภายใต้วัตถุประสงค์ของปัญหา และ $A_{ij}=1/A_{ji}$

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นใช้ตัวเลข 1 ถึง 9 แทนค่าความสำคัญ เพื่อแสดงมาตราส่วนความแตกต่างระหว่างปัจจัยสองปัจจัยที่ถูกเปรียบเทียบในแง่ของระดับความพึงพอใจของผู้ทำการตัดสินใจ เมื่อได้ค่าตัวเลขจากการเปรียบเทียบปัจจัยทีละคู่ ขั้นตอนต่อไปคือ การคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย โดยการหารค่าความสำคัญในแต่ละแถวแนวนอนด้วยผลรวมของค่าความสำคัญในแถวแนวนอนเดียวกัน เพื่อให้ได้เมตริกซ์ของค่าร้อยละ จากนั้นจึงหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวแนวนอนของเมตริกซ์ค่าร้อยละ ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้นี้จะเป็นน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยในแถวนั้น

3. การคำนวณหาความสอดคล้องกันของเหตุผล

วิธีการคำนวณหาความสอดคล้องกันของเหตุผลในการให้คะแนน ใช้การเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ทีละคู่ของหลักเกณฑ์ทั้งหมด โดยนำผลรวมของค่าวินิจจัย (ค่าในตารางเมตริกซ์) ของแต่ละหลักเกณฑ์ในแถวตั้ง (คอลัมน์) มาคูณด้วยผลรวมของค่าเฉลี่ยในแถวแนวนอน (แถว) ของแต่ละหลักเกณฑ์ แล้วนำผลคูณที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับจำนวนหลักเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ ผลรวมนี้เรียกว่า (λ_{max}) ซึ่งใช้ในการคำนวณดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: CI) และอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) เพื่อตรวจสอบความสมเหตุสมผลของการเปรียบเทียบ

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \right] \quad (1)$$

- ถ้าตารางเมตริกซ์มีความสอดคล้องกันของเหตุผลสมบูรณ์ 100%

$\lambda_{\max}$ = จำนวนหลักเกณฑ์ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ (n)

- ถ้าตารางเมตริกซ์ไม่มีความสอดคล้องกัน

$\lambda_{\max} >$ จำนวนหลักเกณฑ์ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ

ดัชนีความสอดคล้อง (Consistency index: CI)

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (2)$$

เมื่อ n คือ จำนวนเกณฑ์หรือปัจจัย

อัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR)

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

เมื่อ RI คือ ที่ได้มาจากการทดสอบโดยการสุ่มตัวอย่างจากตารางเมตริกซ์จำนวน 64,000 ตัวอย่าง ของ L. Saaty Thomas ดังตารางที่ 9

ตาราง 9 แสดงค่า RI จากการสุ่มตัวอย่าง

ขนาดตารางเมตริกซ์	1	2	3	4	5	9	7	8	9	10
ค่า RI	.00	.00	.58	.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

หากอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ในแต่ละเมตริกซ์เท่ากับศูนย์ หมายความว่าชุดดุลยพินิจนั้นมีความสอดคล้องอย่างสมบูรณ์แบบ แสดงว่าการเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างไม่มีข้อขัดแย้ง ในทางตรงกันข้าม หากอัตราส่วนความสอดคล้องมีค่ามาก แสดงว่าดุลยพินิจนั้นขาดความน่าเชื่อถือ เนื่องจากมีความไม่สอดคล้องกันในการเปรียบเทียบ ค่า CR ที่ยอมรับได้โดยทั่วไปคือ 0.10 หรือ 10% กล่าวคือ หาก CR มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 ถือว่าดุลยพินิจนั้นยอมรับได้และมีความสมเหตุสมผล แต่หากชุดดุลยพินิจของผู้ประเมินมี CR

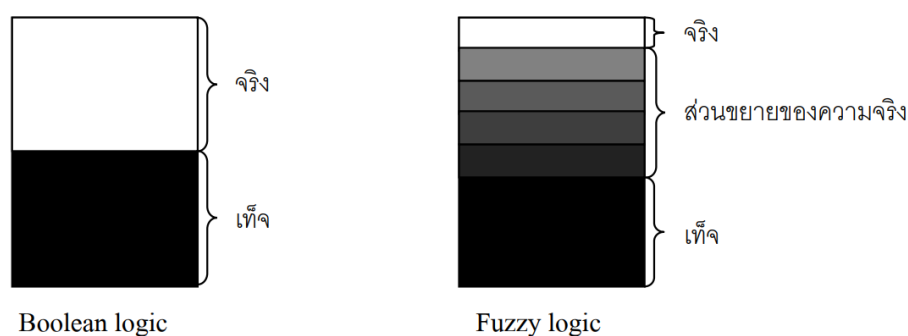
เกินกว่า 0.10 ผู้ประเมินควรทบทวนการเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ใหม่ เพื่อให้การวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

ตรรกะแบบคลุมเครือ(Fuzzy logic)

ตรรกะแบบคลุมเครือ (Fuzzy logic) เป็นศาสตร์ด้านการคำนวณที่ได้รับความนิยมและมีการเพิ่มมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ รวมถึงการประยุกต์ใช้ในงานหลากหลายสาขา เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ และด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น (พยุ่ง มีสัจ, 2552)

1. พื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซี่

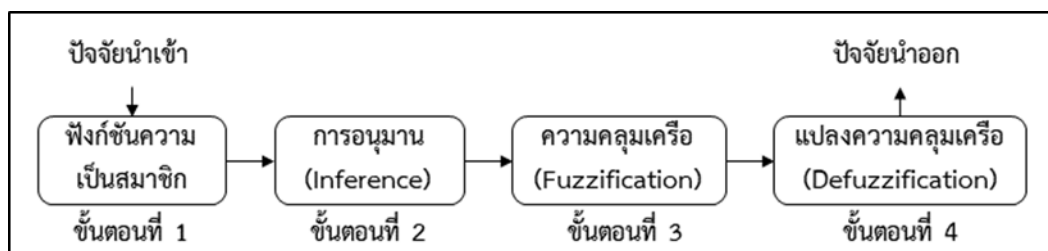
ตรรกะแบบคลุมเครือ (Fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการกับปัญหาที่มีความไม่แน่นอนหรือความคลุมเครือของข้อมูล โดยยอมรับความยืดหยุ่นและใช้หลักเหตุผลที่เลียนแบบกระบวนการคิดของมนุษย์ ซึ่งแตกต่างจากตรรกะแบบบูลีน (Boolean logic) หรือ ตรรกะแบบจริงแท้ ที่มีค่าความจริงเพียงสองค่า คือ จริง (1) และ เท็จ (0) ตรรกะแบบฟัซซี่ขยายแนวคิดเรื่อง "ความจริง" โดยการยอมรับ "ความจริงบางส่วน" (Partial truth) ซึ่งมีค่าต่อเนื่องอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ทำให้สามารถแทนค่าความจริงที่อยู่ระหว่าง "จริงทั้งหมด" (Completely true หรือ 1) และ "เท็จทั้งหมด" (Completely false หรือ 0) ได้อย่างละเอียด เช่น "ค่อนข้างจริง" (เช่น 0.7) หรือ "เกือบเท็จ" (เช่น 0.2) ซึ่งเป็นการจำลองการใช้เหตุผลในชีวิตจริงที่มักมีความคลุมเครือได้แม่นยำกว่าตรรกะแบบดั้งเดิม แสดงดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 ตรรกะแบบจริงแท้ (Boolean logic) กับตรรกะแบบคลุมเครือ (Fuzzy logic)

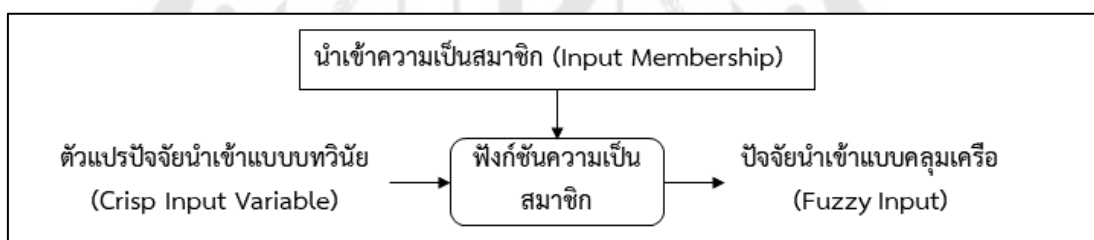
2. ขั้นตอนการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ

ขั้นตอนการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วน แสดงภาพประกอบ 9



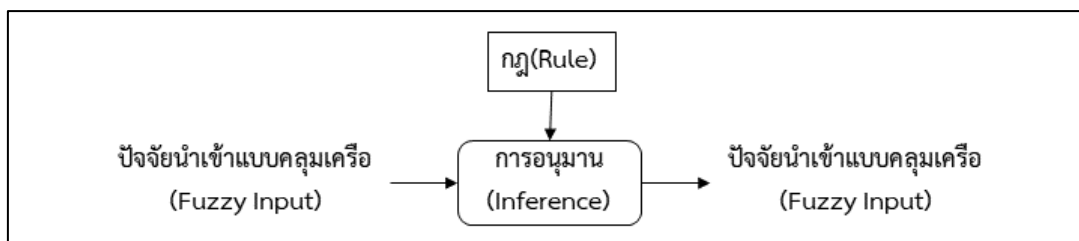
ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ

ขั้นตอนที่ 1 คือ การแปลงข้อมูลนำเข้าจากแบบทวิไปเป็นตัวแปรแบบฟัซซี โดยการสร้างฟังก์ชันความเป็นซึ่งไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของข้อมูลนำเข้าแต่ละชนิด และความสำคัญของข้อมูลนั้น ๆ ต่อผลลัพธ์ (Output) โดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญให้กับข้อมูลนำเข้า เพื่อให้ข้อมูลนั้นอยู่ในรูปของฟัซซีการนำเข้า ภาพประกอบ 10



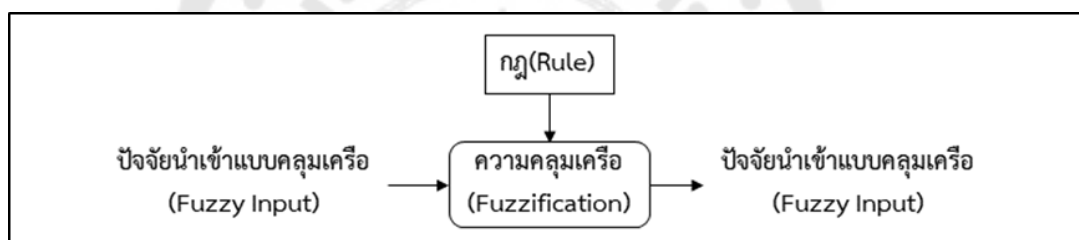
ภาพประกอบ 10 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ

ขั้นตอนที่ 2 คือการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้าทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ (Output) โดยอาศัยหลักการหาเหตุและผล ซึ่งอาจได้มาจากการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือจากผลการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ (Rule-based system) กฎเหล่านี้มักอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) เพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้น กฎทั้งหมดจะถูกรวบรวมและประมวลผลร่วมกันเพื่อให้ได้การตัดสินใจที่เหมาะสมและสอดคล้องกับข้อมูลที่มี ดังภาพประกอบ 11



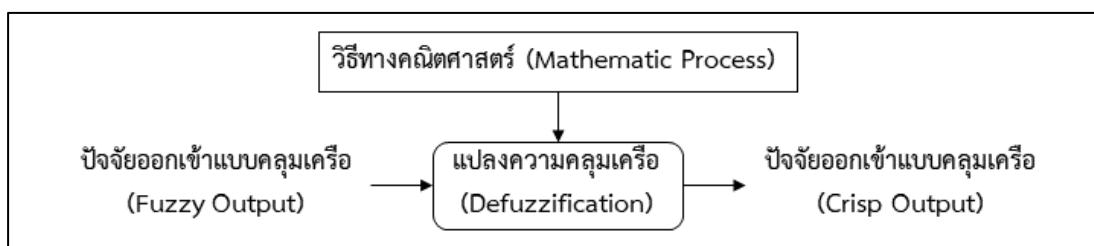
ภาพประกอบ 11 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ

ขั้นตอนที่ 3 คือการหา Fuzzy Output หรือผลลัพธ์แบบฟัซซี โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลร่วมกับ Fuzzy Input หรือข้อมูลนำเข้าแบบฟัซซี ซึ่งได้มาจากการแปลงข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 การประมวลผลนี้ใช้วิธีการทาง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นค่าฟัซซี ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ

หรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลแบบฟัซซี (Defuzzification) โดยจะแปลง Fuzzy Output หรือผลลัพธ์แบบฟัซซีที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ให้กลับเป็นค่าแบบทวินัย (Crisp Value) หรือค่าที่ชัดเจน เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจและควบคุมระบบในสถานการณ์ต่าง ๆ ภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบตรรกะแบบคลุมเครือ

3. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เป็นฟังก์ชันที่กำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มต้นจากการแทนค่าตัวแปรด้วยตัวแทนที่มีลักษณะไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติและการทำงานของระบบฟัซซี รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการคิดและการแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันนี้อาจมีลักษณะสมมาตรหรือไม่สมมาตรกัน (สุพจน์ นิตยสุวัฒน์, 2548) ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 6 ชนิด ดังตารางที่ 10

ตาราง 10 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	พารามิเตอร์	สมการ
ฟังก์ชันสามเหลี่ยม	(a, b, c)	$(x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$
ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู	(a, b, c, d)	$(x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq d \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$
ฟังก์ชันเกาส์เซียน	(m, σ) m = ค่าเฉลี่ย σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	$(x: m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right)$
ฟังก์ชันระฆังคว่ำ	(a, b, c)	$(x: a, b, c) = \left(\frac{1}{1 + \left \frac{x-c}{a}\right ^{2b}}\right)$
ฟังก์ชันตัวเอส	(a, b)	$(x: a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$

ตาราง 10 (ต่อ)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	พารามิเตอร์	สมการ
ฟังก์ชันตัวแซด	(a, b)	$(x: a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP)

Fuzzy AHP เป็นการประยุกต์รวมทฤษฎีเซตแบบฟัซซี (Fuzzy Set) เข้ากับกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องบางประการของ AHP เดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของความไม่แน่นอนและความคลุมเครือในความคิดเห็นของมนุษย์ ซึ่งมักแสดงออกมาในรูปแบบของภาษาที่ใช้ในการประเมิน เช่น สำคัญกว่าเล็กน้อย หรือ สำคัญกว่ามาก ซึ่งไม่สามารถแทนค่าด้วยตัวเลขที่ชัดเจนได้โดยตรง วิธีการคำนวณ Fuzzy AHP โดย Chang ได้นำเสนอวิธีการดังนี้ (Chang, 1996)

- กำหนดให้ $M \in F(R)$ เป็น Fuzzy Number ถ้า $X_0 \in R$ ที่ทำให้ $\mu_m(X_0) = 1$ และ $\forall \lambda \in (0,1)$ $M_\lambda = [x, \mu(x) \geq \lambda]$ ในการหา μ_m เป็น Membership Function ของ $M: R \rightarrow [0,1]$ ดังนี้

$$\mu_M(X_0) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & x \in [l, m] \\ \frac{x-u}{m-u}, & x \in [m, u] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

โดยที่ l และ u เป็นค่าล่างและบนของสมาชิกตามลำดับ และ m เป็นค่ากลางของ M Triangular Fuzzy Number ถูกแสดงคือ (l, m, u)

2. ค่าของการสังเคราะห์ Fuzzy หาได้ดังนี้

$$S_i = \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j \right]^{-1} \quad (5)$$

โดยที่

$$\sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (6)$$

และ

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (7)$$

ดังนั้น

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_j} \right) \quad (8)$$

จะได้ว่า

$$S_i = \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j \right]^{-1} \quad (9)$$

3. Degree of Possibility หาได้ดังนี้

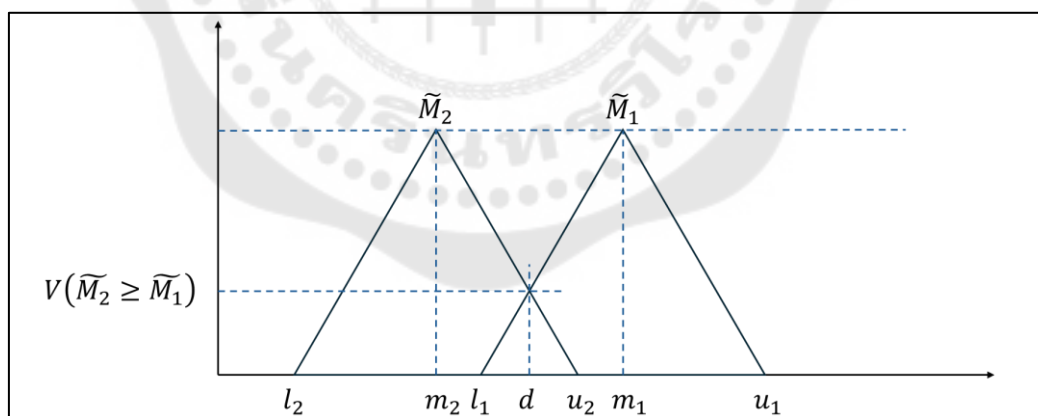
$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min \left(\tilde{M}_1(x), \tilde{M}_2(y) \right) \right] \quad (10)$$

ทำให้ได้ว่า

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)_{\text{hgt}(\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2)} = \tilde{M}_2(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_2 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

ตาราง 11 ค่าความสำคัญของ Fuzzy AHP เปรียบเทียบกับ AHP

ระดับความสำคัญ แบบ AHP	ตัวเลขแสดงความเป็น สมาชิก แบบสามเหลี่ยม ของ Fuzzy AHP	ความหมาย
1	(1,1,1)	มีความสำคัญเท่ากัน
3	(2,3,4)	มีความสำคัญมากกว่าเล็กน้อย
5	(4,5,6)	มีความสำคัญมากกว่าในระดับปานกลาง
7	(6,7,8)	มีความสำคัญมากกว่าในระดับค่อนข้างมาก
9	(8,9,9)	มีความสำคัญมากกว่าในระดับมากที่สุด



ภาพประกอบ 14 ค่า Degree of Possibility สำหรับ Convex Fuzzy Number

4. การหา Degree of Possibility จำนวน k หาได้ดังนี้

$$V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \dots, \tilde{M}_k) = \min V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_i), i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (12)$$

สมมติให้ว่า

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (13)$$

สำหรับ $k=1,2,3,\dots,n; k \neq i$ ทำให้ได้ค่าน้ำหนักดังนี้

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^t \quad (14)$$

ซึ่ง $A_i (i=1,2,3,\dots,n)$ คือ n ปัจจัย และทำการ Normalization ของค่าน้ำหนักได้ตามสมการดังนี้

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^t \quad (15)$$

หลังจากคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือนำค่าน้ำหนักเหล่านี้ไปคูณกับคะแนนของแต่ละตัวเลือกในแต่ละเกณฑ์ การคูณนี้จะทำให้ได้คะแนนถ่วงน้ำหนักของแต่ละตัวเลือกในแต่ละเกณฑ์ จากนั้นนำคะแนนถ่วงน้ำหนักของทุกเกณฑ์ของแต่ละตัวเลือกมารวมกัน เพื่อให้ได้คะแนนรวมสุดท้ายของแต่ละตัวเลือก เมื่อได้คะแนนรวมแล้วจึงนำตัวเลือกทั้งหมดมาเรียงลำดับตามคะแนน โดยจะเลือกตัวเลือกที่มีคะแนนรวมมากที่สุดเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธัญวรรณ์ รอบคำ (2551) ได้ศึกษาผลกระทบจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในการผลิตกะหล่ำปลีที่มีต่อดินในเขตพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนวาง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าดินจากแปลงปลูกกะหล่ำปลีที่ระดับความลึกของดิน 15-30 ซม. หลังการเก็บเกี่ยวมีการตกค้างของสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ phosalone ในปริมาณ 0.01-0.25 มก./กก. chlorpyrifos ปริมาณ 0.03 มก./กก. และ monocrotophos ปริมาณ 0.16 มก./กก. โดยเกษตรกรร้อยละ 23.64 ใช้ chlorpyrifos เป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืช

วรรณศักดิ์ สุขสง, วรวิ จันทรัตน์, สรพงศ์ เบญจศรี, และวิชุดา กล้าเวช (2556) ศึกษาปริมาณโลหะหนักตกค้างในดินเกษตรเคมี โดยเปรียบเทียบดินจากพื้นที่ปลูกยางพารา สวนเงาะ และนาข้าว ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายเช่นเดียวกัน พบว่าปริมาณโลหะหนัก (ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และ

เหล็ก ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในดินของสวนเงาะมีแนวโน้มสูงกว่าดินจากพื้นที่อื่น โดยมีช่วงค่า ดังนี้ สวนยางพารา (8.10 - 12.70, 0.00 - 33.10, 7.50 - 53.20, 3097.00 - 3806.00), สวนเงาะ (13.70 - 26.00, 0.00 - 27.80, 30.70 - 85.70, 4008.00 - 4416.00) และนาข้าว (7.60 - 10.80, 0.00 - 19.80, 21.20 - 54.00, 3276.00 - 3772.00) นอกจากนี้ การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในแต่ละพื้นที่ พบว่ามีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ โดยเหล็กสูงที่สุดในแม่คอรามิน สังกะสีและตะกั่วสูงที่สุดในฟูเร่ และทองแดงสูงที่สุดในเอราเช็ค 35 EC ซึ่งบ่งชี้ว่าสารกำจัดศัตรูพืชเป็นแหล่งหนึ่งของการปนเปื้อนโลหะหนักในดินเกษตร

นัจจุณี ไผ่ผาด, สมจิตต์ สุพรรณทัศน์ และธีรพัฒน์ สุทธิประภา (2557) ได้ศึกษาผลจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวต่อสุขภาพ พืชผัก และดินในแปลงนาของอำเภอร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยการเก็บตัวอย่าง เลือดเกษตรกร พืชผัก และดินในแปลงนาส่งตรวจหาระดับและปริมาณการปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ผลการศึกษาพบว่า ดินในแปลงนาจากกลุ่มตัวอย่าง 5 แปลง ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร ส่งตรวจวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารเคมีตกค้างโดยใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography: HPLC พบสารเคมี chloropyrifos ในปริมาณ 5.21 มก./กก. glyphosate ในปริมาณ 9.99 มก./กก. และ paraquat ในปริมาณ 72.15 มก./กก

ผกาสินี คล้ายมาลา (2558) ศึกษาการตรวจหาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 4 กลุ่ม ได้แก่ ออร์กาโนฟอสเฟต (19 ชนิด) ออร์กาโนคลอรีน (2 ชนิด) ไพรีทรอยด์ (9 ชนิด) และคาร์บาเมต (5 ชนิด) ในแปลงฝรั่ง 26 แปลง ในจังหวัดนครสวรรค์ โดยเก็บตัวอย่างฝรั่ง ดิน และน้ำ รวม 104 ตัวอย่าง (ฝรั่ง 50, ดิน 50, น้ำ 4) และวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas Chromatograph (GC) พบสารตกค้างร้อยละ 49 ของตัวอย่างทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวอย่างดิน พบสารตกค้างร้อยละ 48 ซึ่งตรวจพบสารคลอโรไพริฟอสมากที่สุด (24 ตัวอย่าง) โดยมีปริมาณระหว่าง 0.01-0.16 ppm และมี 5 ตัวอย่างดินที่พบคลอโรไพริฟอสเกินค่าปริมาณสารตกค้างสูงสุด (MRLs)

Balamurugan, Stalin, และ Duraisami (2010) ศึกษาเรื่องการประเมินการปนเปื้อนในดินโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในพื้นที่ Pammal Panchayat of Tambaram Taluk ประเทศอินเดีย เก็บตัวอย่างดิน จุด ที่ความลึก 0.3 ม. 0.9 ม. และ 1.5 ม. โดยสนใจพารามิเตอร์ของค่า TDS, Cr, Chlorides, pH, Sulphate, Ec และ OM โดยใช้เทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่ 4 แบบ ได้แก่ IDW, spline, Kriging และ Trend พบว่า IDW เป็นเครื่องมือที่ดีที่สุดสำหรับการสร้างพื้นผิวที่ต่อเนื่องสำหรับลักษณะทางเคมี และศึกษาดัชนีการปนเปื้อนด้วยปัจจัยดังกล่าวด้วยวิธี AHP โดยในระดับความลึกที่ 0.3 เมตรพบการปนเปื้อนของสารเคมีสูงถึง 5.3 ตารางกิโลเมตร

Shit, Bhunia, และ Maiti (2016) ศึกษาการกระจายตัวของคุณสมบัติของดินด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่ โดยมีการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ทั้งหมด 32 ตัวอย่าง โดยการสุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. ถูกรวบรวมด้วยแกนดินห้ำแกนแต่ละตัวอย่างและผสมให้เข้ากันดีในตัวอย่างดินผสม ตัวอย่างดินถูกทำให้แห้งด้วยอากาศและผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. เพื่อวิเคราะห์เนื้อดินในห้องปฏิบัติการ หาค่า pH ของดิน, EC, ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K) และ OC ของดิน แล้วจะเคราะห์การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วย Ordinary Kriging และใช้เทคนิค Cross-validation เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการ Ordinary Kriging โดย K และ OC แสดงค่า RMSE ที่ 0.590 และ 0.858 ตามลำดับ

Bou Kheir, Greve, Abdallah, และ Dalgaard (2010) ศึกษาการกระจายตัวของสังกะสีในดินทางตอนเหนือของเลบานอน โดยตัวอย่างดิน 200 ตัวอย่าง ระดับความลึก 20 เซนติเมตร ประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วย Ordinary kriging พบว่ามีค่าสังกะสีสูงมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึงร้อยละ 8 ของพื้นที่ศึกษาความแม่นยำที่มาตรฐาน 1:50.000 อยู่ที่ประมาณ 78% และศึกษาการคาดการณ์การตกค้างในพื้นที่ด้วยปัจจัยทางกายภาพด้วยเทคนิค Decision tree ได้แก่ pH, สภาพแวดล้อมของพื้นที่, ระยะห่างจากถนน, ระยะห่างจากชุมชน, ระยะทางระบายน้ำ, โครงสร้างดิน, สิ่งปกคลุมดิน, ความลาดเอียง, การนำไฟฟ้า, ชนิดของดิน, อินทรีย์วัตถุ และความลึกของดิน เป็นต้น

Sjödell (2018) ศึกษาการกระจายตัวของสารหนูในพื้นที่ Kagghamra ประเทศสวีเดน โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนสารหนูโดยเก็บเป็นกริดทั่วพื้นที่ศึกษา ที่ระดับความลึก 4 ระดับ ได้แก่ 0-0.5 เมตร, 0.5-1.0 เมตร, 1.0-1.5 เมตร และ 1.5-2.0 เมตร วิเคราะห์ด้วยการประมาณค่าเชิงพื้นที่ Kriging พบว่ามีค่าเฉลี่ยในการปนเปื้อนสารหนูในดิน 253 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าปนเปื้อนในระดับที่ 0-0.5 เมตรมีอัตราการปนเปื้อนของสารหนูสูงหรือเป็นระดับที่อันตรายที่มีค่าการปนเปื้อนสารหนูมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และยังได้ศึกษาดัชนีสภาพพื้นดิน CGI เพื่อบ่งชี้ความสัมพันธ์ระหว่างความอ่อนไหวของดินต่อการปนเปื้อนของสารหนู พบว่า พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวสูงจะพบการปนเปื้อนของสารหนูมาก ทั้งนี้ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ เนื้อดิน สิ่งปกคลุมดิน ดัชนีความชื้น(TWI) ความลาดชัน และปริมาณโลหะในดิน เป็นต้น

J. Wang et al. (2021) ได้ศึกษาการกระจายยาฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในดินที่ราบ Jiangnan ภาคกลางของจีน ได้เก็บตัวอย่างน้ำ 42 ตัวอย่าง (ตัวอย่างน้ำใต้ดิน 38 ตัวอย่าง และน้ำผิวดิน 4 ตัวอย่าง) และตัวอย่างดิน 85 ตัวอย่าง (ตัวอย่างดิน 78 ตัวอย่าง และดินชั้นบน 7 ตัวอย่าง) ตัวอย่างดินชั้นบนนำมาจากความลึก 10-15 ซม. และเก็บตัวอย่างโปรไฟล์ของดินจาก

หลุมเจาะที่ช่วงความลึกต่างกัน(มากกว่า 5 เมตร) ตัวอย่างดินทั้งหมดถูกรวบรวมในกล่องอะลูมิเนียมที่สะอาด การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของ OPP ถูกใช้โดยแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) และวิเคราะห์การกระจายเชิงพื้นที่ด้วย Trend และการซ้อนทับข้อมูล พบว่า OPPs หลักที่ตรวจพบในดินชั้นบนและดินดานได้แก่ methamidophos, omethoate, diazinon และ quinalphos โดยมีค่าเฉลี่ย 37.04, 37.09, 28.41 และ 26.18 ng g⁻¹ ในตัวอย่างดินชั้นบน และ 26.58, 15.41, 17.18 และ 18.41 ng g⁻¹ ในตัวอย่างดินดาน ตัวอย่างตามลำดับ ตามมาตรฐานขีดจำกัด การขุดค้ำของสารกำจัดศัตรูพืชในดินของสหรัฐอเมริกา ปริมาณเมทิลพาราไฮดรอนตค้ำสูงสุดที่อนุญาตในดินคือ 0.012 mg kg⁻¹ และ OPPs ที่เหลืออยู่เมื่อตรวจพบในดิน บ่งชี้ถึงผลกระทบต่อความปลอดภัยในการผลิตของสินค้าเกษตร

Nag, O'Rourke, และ Cummins (2022) ได้ประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อจัดอันดับพื้นที่เกษตรกรรมของไอร์แลนด์ที่มีภูมิหลังการตกค้างของโลหะ (loid) และความเข้มข้นในดิน โดยใช้ปัจจัย 8 ปัจจัยในการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่า pH ของดิน, SOC, ลักษณะดิน, ความลาดชัน, การระบายน้ำของดิน, IRQ, ตำแหน่งของเหมือง, ความหนาแน่นประชากร ด้วยการจัดอันดับข้อมูลให้ (Reclassify) เปรียบเทียบกับการกระจายตัวของโลหะในดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง พบว่าปัจจัย Integrated Risk Quotient (IRQ) มีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของโลหะมากที่สุด บ่งชี้ว่าพื้นที่เพาะปลูกใน Wexford และพื้นที่เพาะปลูกบางแห่งใน Wicklow, Dublin และ Louth มีความเสี่ยงสัมพัทธ์สูง และชายฝั่งตะวันออกยังเป็นผู้ผลิตพืชผักที่สำคัญของไอร์แลนด์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการประมาณการปนเปื้อนของสารคลอรีนฟอสซึ่งเป็นสารกำจัดแมลงที่สะสมในดินบริเวณพื้นที่ปลูกมะยงชิด จังหวัดนครนายก ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. พื้นที่ศึกษา
2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
3. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
4. วิธีการดำเนินการศึกษา

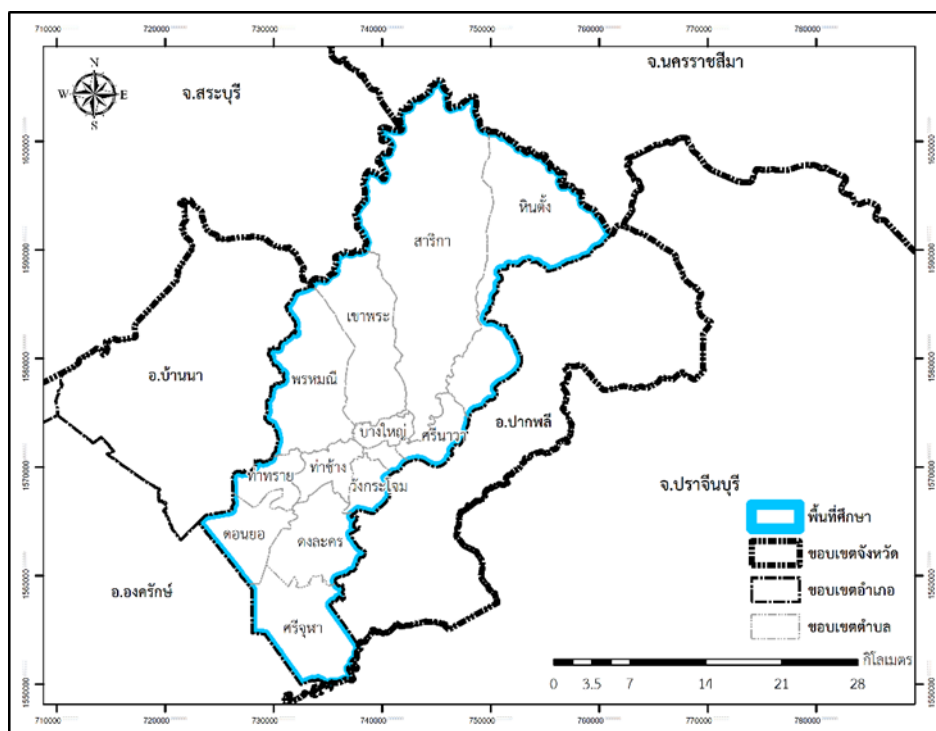
พื้นที่ศึกษา

อำเภอเมืองนครนายก เป็นอำเภอศูนย์กลางการบริหารราชการ ธุรกิจ ท่องเที่ยว การเกษตร และวัฒนธรรมของจังหวัดนครนายก มีพื้นที่รวมประมาณ 728.1 ตารางกิโลเมตร อำเภอเมืองนครนายก มีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

- ทิศเหนือ ติดต่อกับ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา
- ทิศใต้ ติดต่อกับ อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี
- ทิศตะวันออก ติดต่อกับ อำเภอปากพลี จังหวัดนครนายก
- ทิศตะวันตก ติดต่อกับ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

สภาพทางกายภาพเป็นที่ลุ่มดินอุดมสมบูรณ์ เป็นดินร่วนปนทราย มีแหล่งน้ำที่สำคัญ คือ แม่น้ำนครนายก เป็นแหล่งน้ำสายหลัก อ่างเก็บน้ำ 3 อ่าง คลองส่งน้ำชลประทาน 2 สาย และคลองธรรมชาติหลายสาย พื้นที่อำเภอเมืองนครนายกจึงเหมาะแก่การทำการเกษตร

อำเภอเมืองนครนายกแบ่งพื้นที่การปกครองเป็น 13 ตำบล ดังนี้ 1) ตำบลนครนายก 2) ตำบลท่าช้าง 3) ตำบลบ้านใหญ่ 4) ตำบลวังกระโจม 5) ตำบลท่าทราย 6) ตำบลดอนยอ 7) ตำบลศรีจุฬา 8) ตำบลดงละคร 9) ตำบลศรีนาวา 10) ตำบลสาธิตา 11) ตำบลหินตั้ง 12) ตำบลเขาพระ และ 13) ตำบลพรหมณี



ภาพประกอบ 15 แผนที่อำเภอเมืองจังหวัดนครนายก

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่

1. ข้อมูลการกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยด้วยวิธีการ Pair-wise จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 8 ท่าน
2. ข้อมูลปฏิกิริยาดิน จากการเก็บตัวอย่างดินและการสำรวจภาคสนาม จำนวน 62 ตัวอย่าง
3. ข้อมูลการปนเปื้อนของสารคลอรีนฟอสในดิน จากการเก็บตัวอย่างดินและการสำรวจภาคสนาม จำนวน 12 ตัวอย่าง

ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่

1. ข้อมูลขอบเขตการปกครอง จากกรมการปกครอง
2. แผนที่ภูมิประเทศ ชุด L7018 พ.ศ.2545 จากกรมแผนที่ทหาร
3. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2564 จากกรมพัฒนาที่ดิน
4. ข้อมูลชุดดินจัดตั้ง พ.ศ.2562 จากกรมพัฒนาที่ดิน
5. ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข จากกรมแผนที่ทหาร

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ อุปกรณ์สำรวจ และโปรแกรมปฏิบัติการ ดังนี้

1. อุปกรณ์เพื่อการเก็บตัวอย่างดิน
 - 1.1 จอบ เสียบ
 - 1.2 ถังเก็บตัวอย่างดิน
 - 1.3 แผ่นผ้าใบพลาสติก
 - 1.4 ถูเก็บตัวอย่างดิน
 - 1.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก
 - 1.6 เครื่องวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Global Positioning System: GPS)
 - 1.7 LDD pH kit test ของกรมพัฒนาที่ดิน
2. แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญ / แบบสอบถาม
3. โปรแกรมปฏิบัติการ
 - 3.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
 - 3.2 โปรแกรมปฏิบัติการด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS

วิธีดำเนินการศึกษา

พฤติกรรมในพื้นที่ดินของสารปนเปื้อนสารกำจัดแมลงศัตรูพืช เกิดจากคุณสมบัติภายนอก เช่น ลักษณะของภูมิประเทศ รูปแบบการไหลของน้ำ การใช้ที่ดิน และลักษณะของดิน (Bou Kheir et al., 2010) เป็นระบบที่ซับซ้อนทำให้ประเมินได้ยาก เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก มีปฏิสัมพันธ์และส่งผลกระทบบซึ่งกันและกัน ในการศึกษาครั้งนี้ ปัจจัยที่เป็นไปได้ในการแพร่กระจาย และการกระจาย การมีอยู่ของคลอโรไพริฟอสในดินจึงเป็นการศึกษาที่จำกัดเฉพาะชนิดของดิน, อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน, ปฏิกริยาของดิน, ความลึกของดิน, ความลาดชัน, และดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ

1. ทำการแบ่งช่วงชั้นของข้อมูล ดังนี้

1) ชนิดของดิน ดินมีความสามารถในการยึดเกาะกับไอออนบวกของคลอโรไพริฟอสได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะและเนื้อสัมผัส โดยทั่วไปการดูดซับสารคลอโรไพริฟอสที่มากโดยดินที่มีพื้นผิวละเอียดและในดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูง และการดูดซับที่น้อยในดินเนื้อหยาบที่มีปริมาณแร่ดินเหนียวต่ำ เช่น ดินทรายและดินลูกรัง (Bense & Hiscock, 2014)

2) อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน พื้นผิวของดินยังสอดคล้องกับการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการไหลผ่านวัสดุที่มีรูพรุน ความสามารถในการซึมผ่านจะเกี่ยวข้องกับ

คุณสมบัติของดิน ซึ่งรวมถึงความพรุนและขนาดและรูปร่างของอนุภาค การไหลของน้ำจะสามารถเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนสู่ในดิน (Bense & Hiscock, 2014)

3) ปฏิกริยาดิน อัตราการย่อยสลายคลอโรฟิรฟอสที่สูงในดินที่มีปฏิกริยาเป็นต่างนั้น เกิดจากการไฮโดรไลซิสทางเคมี อัตราการสลายตัวของคลอโรฟิรฟอสในดินที่แตกต่างกัน โดยมีช่วงครึ่งชีวิตตั้งแต่ 10 ถึง 120 วัน (Racke, Steele, Yoder, Dick, & Avidov, 1996) การทดลองในปัจจุบันกล่าวว่า อัตราการย่อยสลายของคลอโรฟิรฟอสต่ำในดินที่มีปฏิกริยาเป็นกรด แต่เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปฏิกริยาของดินเพิ่มขึ้น (Singh, Walker, Morgan, & Wright, 2003)

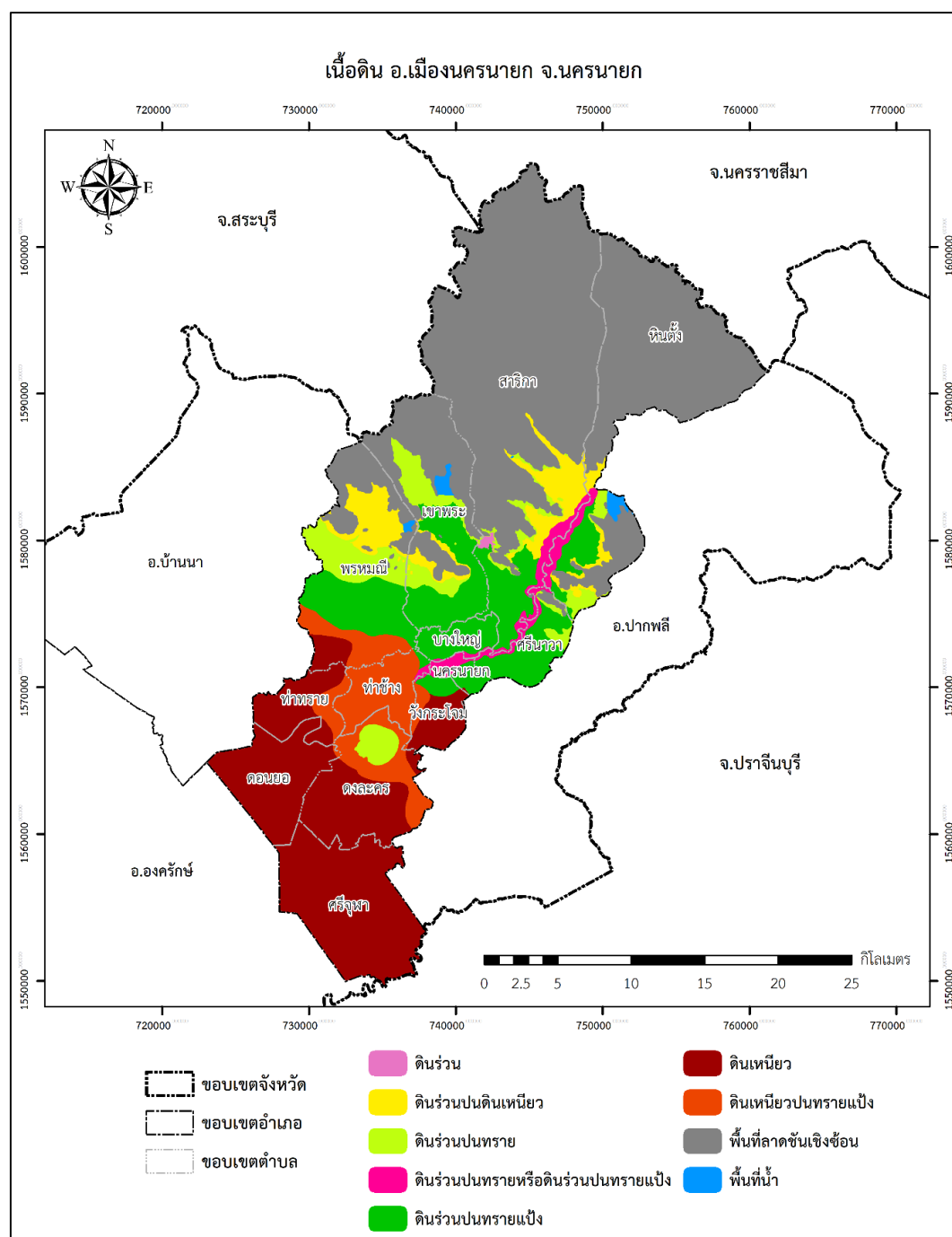
4) ความลึกของดิน ความลึกของดินมีความสำคัญต่อความอ่อนไหวของพื้นที่เนื่องจากสารคลอโรฟิรฟอสสามารถกักเก็บไว้ในดินได้โดยการดูดซับไปยังอนุภาคดินในความลึกของดินที่ตื้นมาก คลอโรฟิรฟอสจะไปถึงพื้นผิวดินได้เร็วกว่าผ่านการรั่วไหล เนื่องจากมีปริมาตรดินที่สามารถดูดซับสารปนเปื้อนได้ ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสี่ยงที่มากขึ้นต่อการแพร่กระจายในใต้ดิน (Bense & Hiscock, 2014)

5) ความลาดชัน ภูมิประเทศของพื้นที่มีความเชื่อมโยงกับการกระจายตัวของดินและพฤติกรรมของน้ำในภูมิประเทศ ดังนั้นจึงเป็นกระบวนการขนส่งสารปนเปื้อนด้วย (Bou Kheir et al., 2010) น้ำสามารถทำหน้าที่เป็นทั้งการไหลบ่าของพื้นผิวหรือในการแทรกซึมและการซึมผ่านลงไปในชั้นดินด้านล่าง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรั่วไหลของสารปนเปื้อน

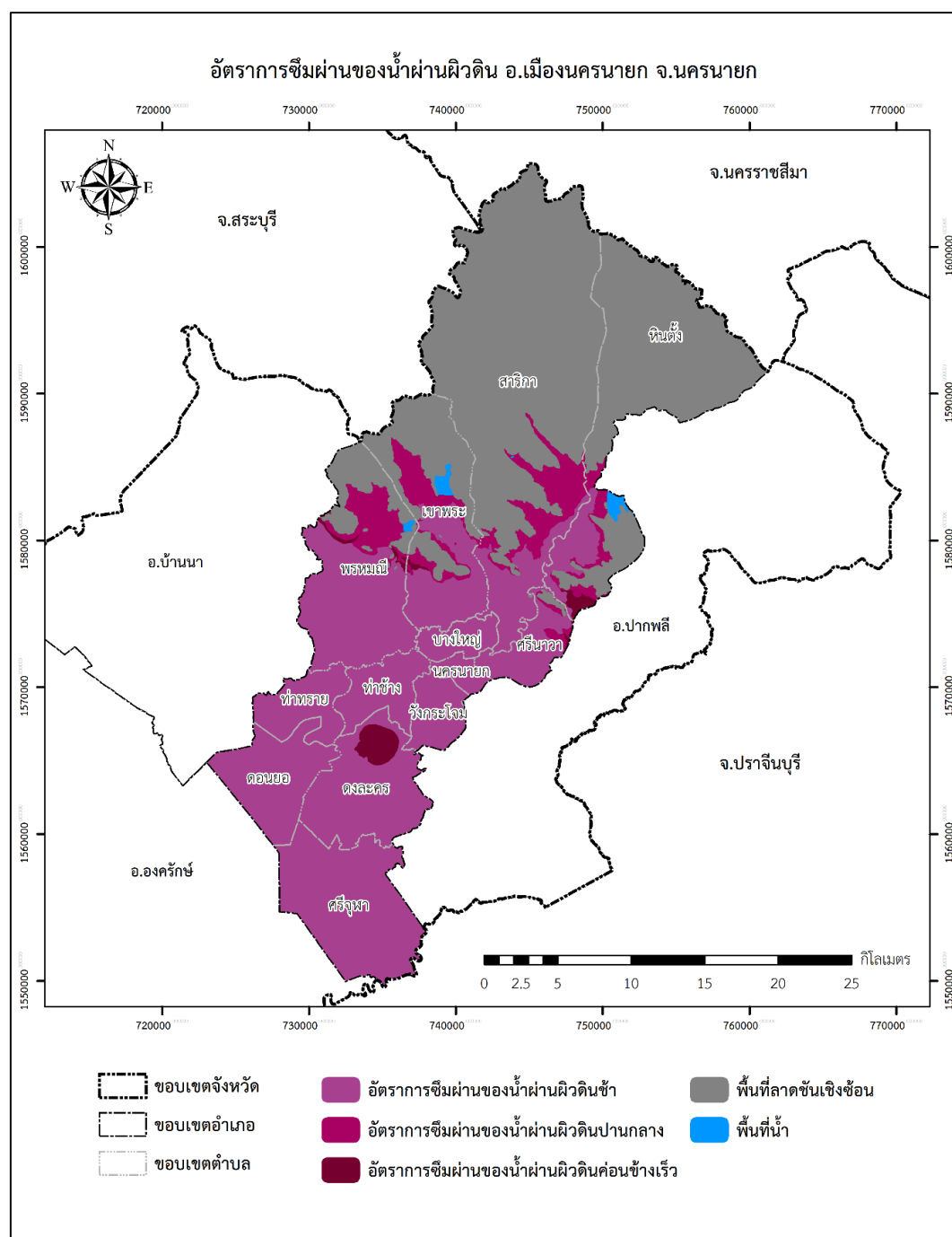
6) ปัจจัยดัชนีความชันของภูมิประเทศ เป็นปัจจัยที่วิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศกับอัตราการไหลสะสม (flow accumulation) แสดงถึงแนวโน้มของการเกิดการไหลของน้ำลงสู่พื้นที่ที่ลาดเอียงต่ำ ดัชนีเป็นฟังก์ชันของทั้งความลาดชันและพื้นที่รองรับน้ำต่อหน่วยความกว้างที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล พื้นที่สะสมและแทรกซึมของน้ำที่มีค่า TWI สูงจะถือว่ามียะดักสารปนเปื้อนที่ต่ำเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความชันสูงและมีแนวโน้มที่จะเกิดการไหลบ่าของน้ำเมื่อฝนตก ค่า TWI ต่ำมักจะมีค่าความชันน้อยทำให้สารคลอโรฟิรฟอสมีโอกาสซึมลึกเข้าไปในดินมากขึ้น โดยคำนวณจาก

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan b} \quad (16)$$

โดย a คือ พื้นที่อิพสโบลโลคัลที่ระบายผ่านจุดหนึ่งต่อความยาวของรูปร่างของหน่วย
โดย b คือ ความลาดเอียงที่สะท้อนถึงศักยภาพการระบายน้ำ



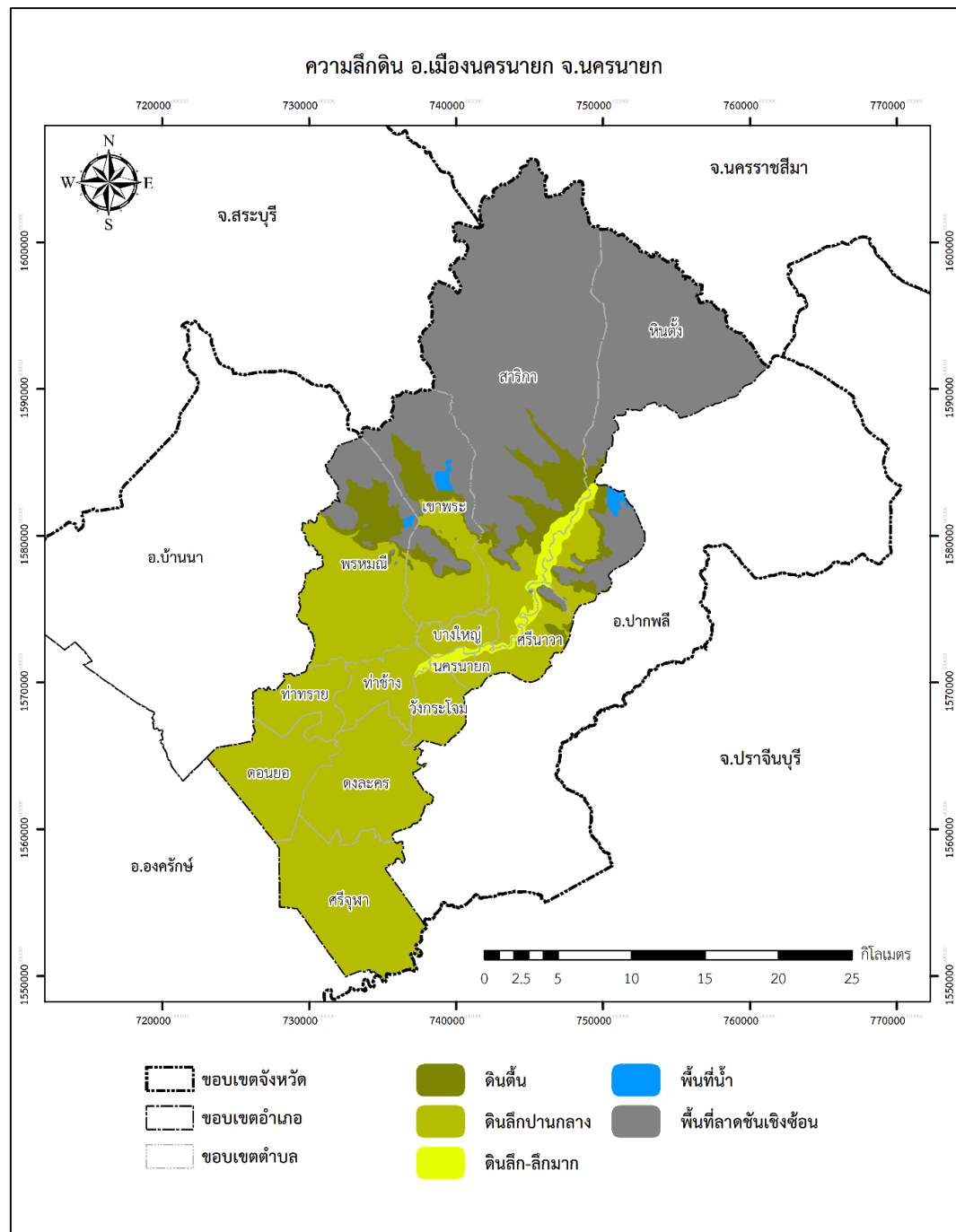
ภาพประกอบ 16 เนื้อดิน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก



ภาพประกอบ 17 อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก



ภาพประกอบ 18 ปฏิริยาติน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก



ภาพประกอบ 19 ความลึกของดิน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก



ภาพประกอบ 20 ความลาดชัน อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก



ภาพประกอบ 21 ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ อ.เมืองนครนายก จ.นครนายก

1. การกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

1) จัดทำแบบสอบถามการกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัย เพื่อนำไปสอบถามผู้เชี่ยวชาญ 8 ท่าน ประกอบไปด้วย ซึ่งมีความเชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ปฐพีวิทยา วัตถุอันตรายทางการเกษตร พืชไร่-พืชสวน และการวางแผนการใช้ที่ดิน จากปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมตัวของสารคลอไรด์ไฟฟอสในดิน ได้แก่ เนื้อดิน ปฏิกริยาดิน ความลึกของดิน อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน ความลาดชันและดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ (Topology Wetness Index: TWI)

2) นำค่าคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามเข้าสู่ตารางเปรียบเทียบค่าความสำคัญ (pair-wise) เพื่อทำการคำนวณค่าความสำคัญของปัจจัย ตามกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นของ Saaty (1980) เพื่อหาค่า Eigenvector สำหรับใช้เป็นค่าน้ำหนักของปัจจัย โดยค่าคะแนน 1-9 มีความหมายดังตารางที่ปรากฏในตาราง 3 บทที่ 2

3) ทำการหาสัดส่วนความสอดคล้องในการกำหนดค่าคะแนน (Consistency ratio: C.R.) เพื่อตรวจสอบความเป็นเหตุเป็นผล ซึ่งค่าสัดส่วนความสอดคล้องที่ได้ต้องไม่เกิน 0.1 จึงสามารถนำค่าความสำคัญไปใช้ได้ หากค่าสัดส่วนความสอดคล้องมีค่าเกิน 0.1 แสดงว่าการกำหนดคะแนนของผู้เชี่ยวชาญไม่มีความสอดคล้องกัน ต้องให้ผู้เชี่ยวชาญกำหนดคะแนนใหม่จนกว่าจะได้ค่าความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยค่าสัดส่วนความสอดคล้องสามารถคำนวณได้จากสมการที่กล่าวใน บทที่ 2

4) การกำหนดค่าความสำคัญโดยผู้เชี่ยวชาญหลายคน (multiple decision) จะต้องคำนวณหาค่าความสำคัญระหว่างปัจจัยเชิงเปรียบเทียบของผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน เพื่อให้ได้เป็นค่าความสำคัญของปัจจัย

5) การศึกษาในครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าคะแนน โดยให้ค่าความสำคัญของ FAHP ดังตาราง 10

6) แปลงข้อมูลจากตัวเลขทั่วไปให้อยู่ในรูปแบบของตัวเลขความคลุมเครือ นำมาเปรียบเทียบความสำคัญรายคู่ของปัจจัยแบบตารางเมทริกซ์ฟัซซี่ (Fuzzy Comparison Matrix: FCM) ในรูปแบบสามเหลี่ยมที่เป็นเชิงเส้นตรงและกระจายตัวแบบสมมาตร (Triangular fuzzy numbers) ซึ่งตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมนี้จะถูกนำมาใช้แทนค่าตัวเลขเดี่ยวแบบที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

7) คำนวณด้วยวิธีการ Geometric Mean เพื่อให้ได้ค่าความสำคัญของปัจจัยโดยใช้สมการที่ (17)

$$\tilde{W}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \tilde{r}_n)^{-1} = (lw_i; mw_i; um_i) \quad (17)$$

8) ทำการแปลงค่าตัวเลขจากตัวเลขฟัซซี ให้กลายเป็นตัวเลขปกติ (Defuzzification) โดยวิธี Centre of Area Method โดยใช้สมการที่ (12) และทำการ Normalization ค่าของการ Defuzzification จะได้ค่าความสำคัญด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

$$M_i = \frac{lw_j + mw_j + uw_j}{3} \quad (18)$$

3. การจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยเปลี่ยนข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ ดังนั้นข้อมูลที่ดำเนินการจึงต้องมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

4. การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอรีนไฟรฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

1) นำค่าความสำคัญของปัจจัยและข้อมูลเชิงพื้นที่ของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาแล้วจึงสามารถกำหนดระดับการจำแนกข้อมูล ค่าความสำคัญ ค่าคะแนน และคะแนนรวมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอรีนไฟรฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

2) นำค่าความสำคัญของปัจจัยที่เข้าสู่กระบวนการทางระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์และคำนวณคะแนนรวมของผลลัพธ์แต่ละปัจจัยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การประมาณการปนเปื้อนสารคลอรีนไฟรฟอสในดิน ด้วยการนำปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัยซ้อนทับกันและตัดพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่น้ำออก และรวมผลคูณของค่าความสำคัญและค่าคะแนน ทั้ง 6 ปัจจัย โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จัดแบ่งความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของพื้นที่ด้วยวิธีการคำนวณด้วยค่าสถิติแบบ Equal interval Classification ออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมาก พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อยและพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด โดยใช้ค่าน้ำหนักของปัจจัยคูณด้วยค่าคะแนนสูงสุดของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งจะได้ผลรวมเป็นค่าความสำคัญรวม ดังสมการ

$$S = W_1R_2 + W_2R_2 + \dots + W_nR_n \quad (19)$$

เมื่อ S หมายถึง ค่าความสำคัญของปัจจัย

เมื่อ W หมายถึง ค่าน้ำหนักของปัจจัย

เมื่อ R หมายถึง ค่าคะแนนสูงสุดของปัจจัย

5. การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอรีไพริฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ

5.1 การเก็บตัวอย่างดิน

1) การเก็บตัวอย่างดินเพื่อตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนของสารคลอรีไพริฟอสซึ่งเป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืช ทำการเก็บตัวอย่างดินแบบสุ่ม (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 12 ตัวอย่างในแต่ละระดับความเสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไพริฟอส โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตรในแนวตั้ง

2) ในแต่ละตำแหน่งของแปลงตัวอย่างหรือพื้นที่ตัวอย่างจะเก็บตัวอย่างในแปลงตัวอย่างแบบมีระบบ (system sampling) โดยมีระยะห่างด้านละ 50 เมตร เท่า ๆ กัน

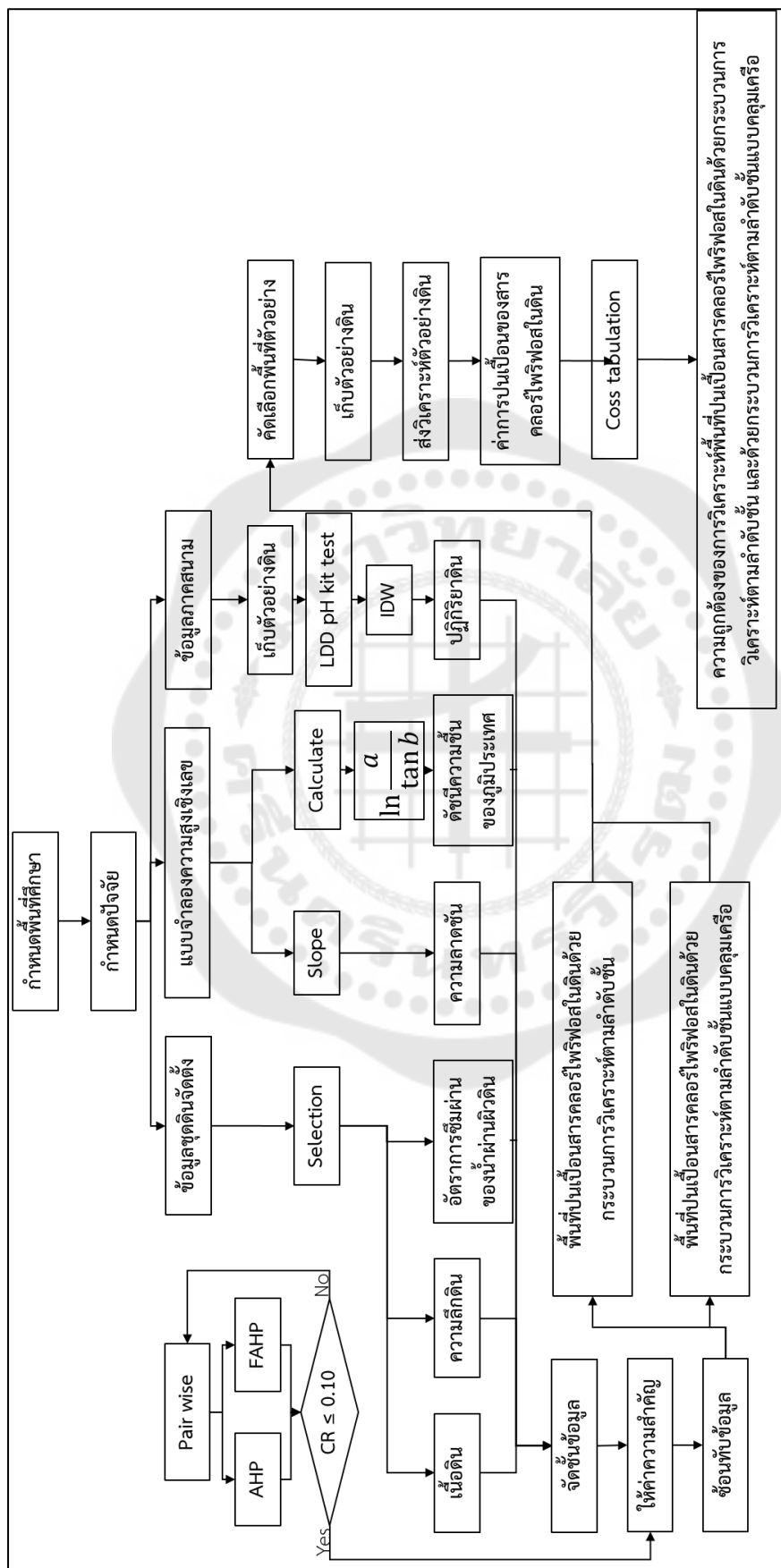
5.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

1) การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ต้องผึ่งดิน เพื่อลดความชื้นของดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมได้ของจุดตัวอย่าง โดยการเทลงแผ่นผ้าพลาสติกผืนในที่ร่มไม่มีแสงแดดส่องและไม่โดนความร้อน

2) จากนั้นแบ่งเกลี่ยดินเป็นวงกลม ฝ่าแบ่งเป็น 4 ส่วน เลือกเก็บดิน 1 ส่วนหนัก 1 กิโลกรัม จัดเก็บในถุงพลาสติกและบันทึกรายละเอียด

5.3 วิเคราะห์โดยใช้วิธีทดสอบ In-house method TE-CH-328 based on QuEChERS Method EN 15662:2018 by GC/FPD Technique วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อหาปริมาณและชนิดของการตกค้างของสารคลอรีไพริฟอสในตัวอย่างดิน

5.4 เปรียบเทียบผลการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอรีไพริฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับผลวิเคราะห์จากการเก็บตัวอย่างดิน ด้วยวิธี crosstab เพื่อหาความสัมพันธ์ของพื้นที่ความเสี่ยงกับปริมาณการตกค้างของสารคลอรีไพริฟอส



ภาพประกอบ 22 วิธีการศึกษา

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ปัจจัยของดินบางประการต่อการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณพื้นสวนมะยงชิด อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอสในดินโดยการเปรียบเทียบหาลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ผลลัพธ์การกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ
2. ผลลัพธ์การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
3. ผลลัพธ์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ
4. ผลลัพธ์การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

ผลลัพธ์การกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

กระบวนการนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 8 ท่าน โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือเพื่อการได้มาซึ่งข้อมูลโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) และ กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP) จากปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอโรไพริฟอสในดิน ได้แก่ เนื้อดิน ปฏิกริยาดิน ความลึกของดิน อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน ความลาดชัน และดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ (Topology Wetness Index: TWI) จากผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเชิงคู่โดยผู้เชี่ยวชาญได้ดังนี้

ค่าน้ำหนักความสำคัญที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

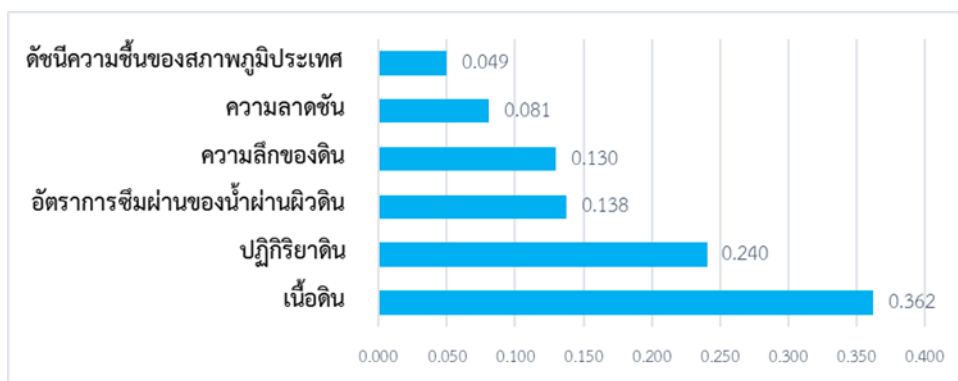
ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมสารคลอโรไพริฟอสในดินเป็นการใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากการตอบแบบประเมินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน มาดำเนินการวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัย โดยการกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัยนั้นด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) เพื่อหาค่า Eigenvector สำหรับใช้เป็นค่าน้ำหนักของปัจจัยและตรวจสอบความสอดคล้องกันของข้อมูล (Consistency Ratio: C.R.) แล้ว ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ไม่เกิน 0.1) จึงแสดงว่าการกำหนดคะแนนของผู้เชี่ยวชาญเป็นเหตุเป็นผลสามารถนำค่า Eigenvector

ไปใช้เป็นค่าน้ำหนักของปัจจัยได้ ผลการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอรีนไฟรฟอสในดินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ด้วยกระบวนการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น สามารถสรุปได้เป็น ตารางที่ 12 ได้ดังนี้

ตาราง 12 ผลการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอรีนไฟรฟอสในดินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ด้วยกระบวนการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

ปัจจัย	ค่าน้ำหนักความสำคัญ								ค่าน้ำหนักเฉลี่ย
	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
เนื้อดิน	0.452	0.166	0.429	0.422	0.420	0.397	0.204	0.408	0.362
อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน	0.043	0.415	0.092	0.067	0.143	0.079	0.033	0.231	0.138
ปฏิกิริยาดิน	0.256	0.028	0.185	0.228	0.222	0.296	0.531	0.177	0.240
ความลึกของดิน	0.025	0.257	0.185	0.094	0.111	0.150	0.115	0.100	0.130
ความลาดชัน	0.144	0.079	0.045	0.145	0.068	0.049	0.058	0.056	0.081
ดัชนีความชื้นของสภาพภูมิประเทศ	0.080	0.055	0.064	0.044	0.036	0.029	0.058	0.029	0.049
Consistency Ratio: C.R.	0.073	0.087	0.075	0.081	0.073	0.086	0.075	0.068	

จากผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: C.R.) ทั้งหมด ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีค่าน้อยกว่า 0.10 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญได้ทำการเปรียบเทียบรายคู่ปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนสารคลอรีนไฟรฟอสในดินได้อย่างสอดคล้องกัน โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ เนื้อดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.362 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สองคือ ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่ปฏิกิริยาดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.240 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สามคือ อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.138 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สี่คือ ความลึกของดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.130 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่ห้าคือ ความลาดชัน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.081 และปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่หกคือ ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.049 ดังแสดงในภาพประกอบ 23 ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 23 ค่าความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอไรไฟรฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

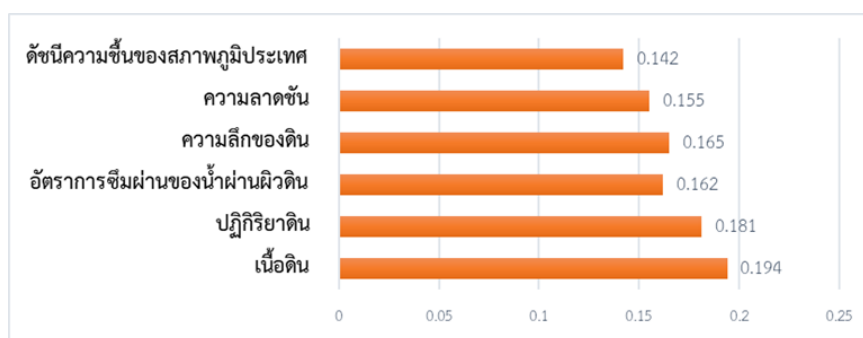
ค่าน้ำหนักความสำคัญที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

จากการสังเคราะห์ผลของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสในดินที่ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนความสำคัญต่อปัจจัยต่าง ๆ ในระดับที่ต่างกันจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คำนวณเมทริกซ์การเปรียบเทียบของแต่ละปัจจัยและแปลงข้อมูลจากตัวเลขทั่วไปให้อยู่ในรูปแบบของตัวเลขความคลุมเครือในรูปแบบสามเหลี่ยมที่เป็นเชิงเส้นตรงและกระจายตัวแบบสมมาตร (Triangular Fuzzy Numbers) จากนั้นนำตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมมาแทนค่าการใช้ตัวเลขเดี่ยวแบบกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น จากการประเมินคะแนนการเปรียบเทียบระดับความสำคัญ เพื่อช่วยให้การประเมินนั้นมีความใกล้เคียงกับดุลยพินิจของผู้ประเมินแต่ละบุคคล ผลการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอไรไฟรฟอสในดินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ด้วยกระบวนการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ สามารถสรุปได้เป็น ตาราง 13 ได้ดังนี้

ตาราง 13 ผลการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอโรไพริฟอสในดินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ด้วยกระบวนการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

ปัจจัย	ค่าน้ำหนักความสำคัญ								ค่าน้ำหนักเฉลี่ย
	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	ท่านที่	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
เนื้อดิน	0.200	0.179	0.198	0.199	0.199	0.197	0.186	0.198	0.194
อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน	0.145	0.196	0.162	0.151	0.171	0.158	0.132	0.182	0.162
ปฏิกิริยาดิน	0.191	0.129	0.177	0.182	0.182	0.193	0.211	0.182	0.181
ความลึกของดิน	0.124	0.190	0.177	0.162	0.163	0.176	0.168	0.160	0.165
ความลาดชัน	0.178	0.158	0.135	0.171	0.152	0.147	0.152	0.149	0.155
ดัชนีความชื้นของสภาพภูมิประเทศ	0.168	0.148	0.150	0.135	0.134	0.129	0.152	0.128	0.142

จากผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ เนื้อดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.194 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สองคือ ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่ปฏิกิริยาดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.181 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สามคือ ความลึกของดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.165 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่สี่คือ อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.162 ปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่ห้าคือ ความลาดชัน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.155 และปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับที่หกคือ ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 0.142 ดังแสดงในภาพประกอบ 24 ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 24 ค่าความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารคลอโรไพริฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

ผลการเปรียบเทียบค่าความสำคัญระหว่างกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

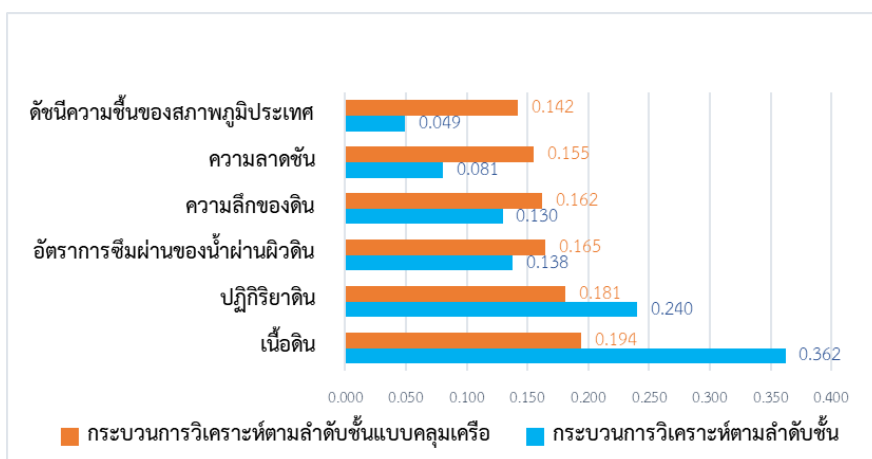
เมื่อนำค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของปัจจัยที่คำนวณได้ระหว่างกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือมาเปรียบเทียบกันในตารางที่ 14 พบว่า ค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของปัจจัยที่คำนวณได้จากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นมีการกระจายตัวอยู่ระหว่าง 0.048-0.362 สำหรับค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่คำนวณได้จากกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นแบบคลุมเครือ มีการกระจายตัวอยู่ระหว่าง 0.142-0.194 จะเห็นว่าการกระจายตัวของค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่คำนวณได้จากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นมีค่ามากกว่ากระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือซึ่งทำให้พิจารณาได้ง่ายกว่าเนื่องจากค่าน้ำหนักระดับความสำคัญในแต่ละปัจจัยหลักมีความห่างกันเฉลี่ย 0.052 ในขณะที่ค่าน้ำหนักระดับความสำคัญในแต่ละปัจจัยตามวิธีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือมีความห่างกันเฉลี่ยเพียง 0.008

ตาราง 14 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย

ปัจจัย	กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น		กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ	
	ค่าน้ำหนัก	ลำดับที่	ค่าน้ำหนัก	ลำดับที่
เนื้อดิน	0.362	1	0.194	1
ปฏิกิริยาดิน	0.240	2	0.181	2
อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน	0.138	3	0.162	4
ความลึกของดิน	0.130	4	0.165	3
ความลาดชัน	0.081	5	0.155	5
ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ 1	0.048	6	0.142	6

และเมื่อพิจารณาเรียงลำดับปัจจัย จากตาราง 14 พบว่าทั้งสองวิธีให้ผลที่คล้ายคลึงกัน คือ เนื้อดิน มีค่าน้ำหนักมากที่สุดเป็นอันดับที่ 1 ปฏิกิริยาดิน มีค่าน้ำหนักมากเป็นอันดับที่ 2 อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดินและความลึกของดิน มีค่าน้ำหนักอยู่ในอันดับที่ 3 และ 4 ในกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น แต่อยู่ในอันดับ 4 และ 3 ในการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับ

ชั้นแบบคลุมเครือ ส่วนความลาดชัน และดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ มีค่าความสำคัญของปัจจัยอยู่ในอันดับ 5 และ 6 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 25 เปรียบเทียบค่าความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

ผลลัพธ์การจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ ดังนั้นข้อมูลที่ดำเนินการจึงต้องมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ศึกษาด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

ปัจจัยเนื้อดิน

ดินมีความสามารถในการยึดเกาะกับอนุภาคของคลอไรไฟรฟอสได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะและเนื้อสัมผัส โดยทั่วไปการดูดซับสารคลอไรไฟรฟอสที่มากโดยดินที่มีพื้นผิวละเอียดและในดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูง และการดูดซับที่น้อยในดินเนื้อหยาบที่มีปริมาณแร่ดินเหนียวต่ำ เช่น ดินทรายและดินลูกรัง (Mwevura, Kylin, Vogt, & Bouwman, 2021) ซึ่งสามารถจัดแบ่งข้อมูลตามหลักเกณฑ์การจำแนกเนื้อดินตามปริมาณของดินเหนียวของกรมพัฒนาที่ดิน (ส่วนวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน สำนักตรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2557) ออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้ (ภาพประกอบ 26)

- ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด กลุ่มดินเหนียว
- ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก กลุ่มดินร่วนปนเหนียว
- ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง กลุ่มดินร่วน
- ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย กลุ่มดินทราย
- ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด กรวดหรือหิน

อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก ประกอบไปด้วยเนื้อดินเป็นดินเหนียว 230.08 ตร.กม คิดเป็นร้อยละ 52.88 ได้แก่ ชุดดินมหาโพธิ์ (2) ชุดดินองครักษ์ (10) ชุดดินรังสิต (11) ครอบคลุมพื้นที่ ตอนกลางถึงตอนล่างของพื้นที่ศึกษา เนื้อดินร่วนปนเหนียว 35.66 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 8.20 ได้แก่ ชุดดินไพศาลี (56C) ซึ่งอยู่ทางตอนบนของตำบลสาริกา ตอนล่างบางส่วนของตำบลสาริกาและตำบลหินตั้ง ดินร่วน 169.32 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 38.92 ได้แก่ชุดดินกบินทร์บุรี (46B) ชุดดินดอนไร่ (35B) ชุดดินไพศาลี (56B 56C) ชุดดินหินกอง (16) และหน่วยดินเชิงซ้อนท่าม่วง (38B/33B) ครอบคลุมตอนกลางของอำเภอเมืองนครนายกในพื้นที่ตำบลเขาใหญ่ พรหมณี เขาพระ ศรีนาวา และตอนกลางของตำบลดงละคร

ปัจจัยปฏิกิริยาดิน

อัตราการย่อยสลายคลอโรไฟรฟอสที่สูงในดินที่มีเป็นต่างนั้นเกิดจากการกระบวนการไฮโดรไลซิสทางเคมี ทำให้มีอัตราการสลายตัวของคลอโรไฟรฟอสในดินที่แตกต่างกัน โดยมีช่วงครึ่งชีวิตตั้งแต่ 10 ถึง 120 วัน (Racke et al., 1996) และการทดลองของ Singh et al. (2003) และ Nashriyah (2004) กล่าวว่า ปฏิกิริยาดินมีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายของคลอโรไฟรฟอส ไฮโดรไลซิสที่รวดเร็วยิ่งขึ้นภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง การศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาอย่างเป็นระบบ (grid system) จำนวน 62 ตัวอย่าง และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการประมาณค่าช่วงเท่า (Inverse Distance Wight) โดยสามารถแบ่งลักษณะของข้อมูลตามการศึกษาของที่ศึกษาการย่อยสลายของสารคลอโรไฟรฟอสในดินในดินที่มีปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ได้ 5 ระดับ ตามการศึกษาของ Racke ดังนี้ (ภาพประกอบ 27)

- ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด ปฏิกิริยาดินน้อยกว่า 4.7
- ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก ปฏิกิริยาดินระหว่าง 4.8 - 5.7
- ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง ปฏิกิริยาดินระหว่าง 5.8 – 6.7
- ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย ปฏิกิริยาดินระหว่าง 6.8 – 7.7
- ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด ปฏิกิริยาดินมากกว่า 7.7

ปฏิกริยาดินน้อยกว่า 4.7 มี 241.19 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 55.44 ครอบคลุมพื้นที่ ตำบลท่าช้าง ตำบลท่าทราย ตำบลวังกระโจม ตำบลดอนยอ ตำบลดงละคร ตำบลศรีจุฬา และ ครอบคลุมพื้นที่ตอนล่างตำบลพรหมณี ปฏิกริยาดินระหว่าง 4.8 - 5.7 มีพื้นที่ 131.46 ตร.กม. คิดเป็น ร้อยละ 30.22 ครอบคลุมพื้นที่ตำบลศรีนาวา ตำบลบางใหญ่ ตอนกลางของตำบลพรหมณี และตอนล่างของตำบลเขาพระและตำบลหินตั้ง ปฏิกริยาดินระหว่าง 5.8 – 6.7 มีพื้นที่ 54.10 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 12.44 ครอบคลุมพื้นที่ตอนกลางของตำบลพรหมณี ตำบลเขาพระ ตำบลสาริกา และครอบคลุมพื้นที่เล็กน้อยในตอนกลางของตำบลบางใหญ่ ตำบลศรีนาวา ตำบลดงละครและ ตำบลศรีจุฬา ปฏิกริยาดินระหว่าง 6.8 – 7.7 มีพื้นที่ 7.7 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 1.77 และปฏิกริยาดิน มากกว่า 7.7 มีพื้นที่ 0.59 ตร.กม. คิดร้อยละ 0.14

ปัจจัยอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน

การคงอยู่ของสารคลอรีไฟรฟอสมีความสอดคล้องกับการซึมผ่านของน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินเข้าไปในดินตามช่องระหว่างเม็ดดินตามรอยแตกกระแหงด้วยแรงดึงดูดของโลกซึ่งแสดงถึงความสามารถในการซึมผ่าน แสดงให้เห็นถึงการเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของดิน ซึ่งรวมถึง ความพรุนและขนาดและรูปร่างของอนุภาค การไหลของน้ำจะสามารถเคลื่อนย้ายสารคลอรีไฟรฟอส ที่มีสามารถละลายในน้ำได้สู่นในดิน (Elizabeth & Shaik, 2015) จึงได้แบ่งช่วงชั้นข้อมูลออกเป็น 5 ระดับ ตามข้อมูลชุดดินจัดตั้งของกรมพัฒนาที่ดิน ได้ดังนี้ (ภาพประกอบ 28)

- ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด การซึมของน้ำในดินช้า
- ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก การซึมของน้ำในดินปานกลาง
- ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง การซึมของน้ำในดินค่อนข้างเร็ว
- ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย การซึมของน้ำในดินเร็ว
- ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด การซึมของน้ำในดินเร็วมาก

การซึมของน้ำในดินช้า มีพื้นที่ 370.67 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 85.20 ซึ่งประกอบด้วย ชุดดิน หินกอง (16) มหาโพธิ์ (2) องครักษ์ (10) รังสิต (11) หน่วยดินเชิงซ้อนท่าม่วง (38B/33B) การซึมของน้ำในดินปานกลาง มีพื้นที่ 54.43 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 12.51 ประกอบด้วยชุดดิน ไพศาลี (56B 56C) กบินทร์บุรี (46B) การซึมของน้ำในดินค่อนข้างเร็ว มีพื้นที่ 9.96 คิดเป็นร้อยละ 2.29 ประกอบด้วยชุดดิน ดอนไร่ (35B)

ปัจจัยความลึกของดิน

ความลึกของดินมีความสำคัญต่อความอ่อนไหวของพื้นที่ เนื่องจากสารคลอรีไฟรฟอสสามารถกักเก็บไว้ในดินได้โดยการดูดซับไปยังอนุภาคดิน ในความลึกของดินที่ตื้นมาก สารคลอรีไฟรฟอสจะไปถึงพื้นผิวดินได้เร็วกว่าผ่านการซึมผ่านลงสู่ดินชั้นล่าง เนื่องจากมีปริมาตรดิน

ที่สามารถดูดซับสารคลอโรฟิรฟอสได้ ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสี่ยงที่มากขึ้นต่อการแพร่กระจายในสิ่งมีชีวิตใต้ดินใต้ดินและน้ำใต้ดิน (Bense & Hiscock, 2014) โดยแบ่งลักษณะของข้อมูลตามชุดข้อมูลชุดดินจัดตั้งของกรมพัฒนาที่ดิน แบ่งช่วงชั้นข้อมูลออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้ (ภาพประกอบ 29)

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด ดินตื้นมาก

ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก ดินตื้น

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง ดินลึกปานกลาง

ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย ดินลึก-ลึกมาก

พื้นที่ศึกษามีพื้นที่ดินตื้น 54.43 หรือคิดเป็นร้อยละ 12.51 ตร.กม. ได้แก่ชุดดิน ไผ่ศาลี (56B 56C) กบินทร์บุรี (46B) ซึ่งเป็นพื้นที่ติดเขตพื้นที่ลาดชันซึ่งอยู่ตอนล่างของตำบลพรหมณี เขาพระศาลิกา และบางส่วนของตำบลหินตั้ง มีพื้นที่ดินลึกเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่มีพื้นที่ 364.21 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 83.72 ได้แก่ ชุดดิน หินกอง (16) มหาโพธิ์ (2) องครักษ์ (10) รังสิต (11) ดอนไร่ (35B) และพื้นที่ดินลึกถึงลึกมาก มีพื้นที่ 16.41 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 3.77 ได้แก่ ชุดดินหน่วยดินเชิงซ้อนท่าม่วง (38B/33B) ยาวตามแนวแม่น้ำนครนายกจรดถึงตำบลท่าช้าง

ปัจจัยความลาดชัน

ภูมิประเทศของพื้นที่มีความเชื่อมโยงกับการกระจายตัวของดินและพฤติกรรมของน้ำในภูมิประเทศ ดังนั้นจึงเป็นกระบวนการขนส่งสารปนเปื้อน (Bou Kheir et al., 2010) น้ำสามารถทำหน้าที่เป็นทั้งการไหลพาของพื้นผิวหรือในการแทรกซึมและการซึมผ่านลงไปในพื้นที่ดินด้านล่าง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรั่วไหลของสารปนเปื้อน โดยแบ่งช่วงชั้นข้อมูลออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้ (ภาพประกอบ 30)

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด ความลาดชันน้อยกว่า 5 องศา

ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก ความลาดชัน 5 – 9 องศา

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง ความลาดชัน 9 – 15 องศา

ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย ความลาดชัน 15 – 23 องศา

ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด ความลาดชันมากกว่า 23 องศา

พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ลุ่มภาคกลางมีพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่า 5 องศา 425.88 ตร.กม หรือคิดเป็นร้อยละ 97.83 พื้นที่ที่มีความลาดชันระหว่าง 5 – 9 องศา มีพื้นที่ 4.89 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 1.12 พื้นที่ความลาดชันระหว่าง 9 – 15 องศา มีพื้นที่ 3.01 ตร.กม. พื้นที่ความลาดชันระหว่าง 15 – 23 องศา มีพื้นที่ 1.32 ตร.กม. และความลาดชันมากกว่า 23 องศา มีพื้นที่ 0.22 ตร.กม คิดเป็นร้อยละ 0.69, 0.30 และ 0.05 ตามลำดับ

ปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ

ปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ เป็นปัจจัยที่วิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศกับอัตราการไหลสะสม (flow accumulation) แสดงถึงแนวโน้มของการเกิดการไหลของน้ำลงสู่พื้นที่ที่ลาดเอียงต่ำ ดัชนีเป็นฟังก์ชันของทั้งความลาดชันและพื้นที่รองรับน้ำต่อหน่วยความกว้างที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล พื้นที่สะสมและแทรกซึมของน้ำที่มีค่า TWI สูงจะถือว่ามีความเสี่ยงที่ต่ำเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความชื้นสูงและมีแนวโน้มที่จะเกิดการไหลบ่าของน้ำเมื่อฝนตก ค่า TWI ต่ำมักจะมีความชื้นน้อยทำให้สารคลอไรไฟฟอสมีโอกาสมลพิษซึมลึกเข้าไปในดินมากขึ้น โดยแบ่งช่วงชั้นข้อมูลออกเป็น 5 ระดับ ตามการศึกษาของ Sjödell (2018) ดังนี้ (ภาพประกอบ 31)

ระดับที่ 1 พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด มีค่า 0 – 0.25

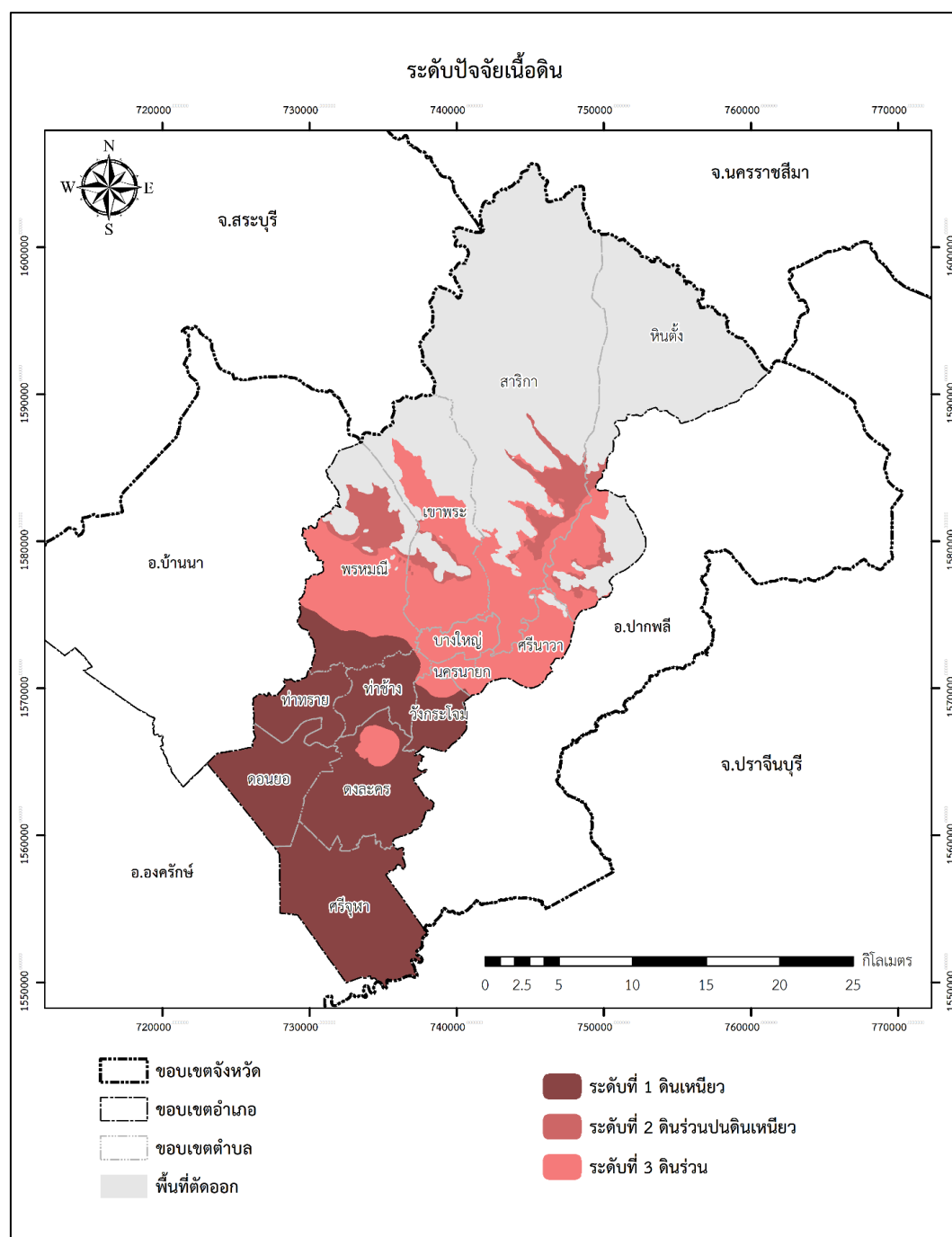
ระดับที่ 2 พื้นที่เสี่ยงมาก มีค่า 0.25 – 0.35

ระดับที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง มีค่า 0.35 – 0.45

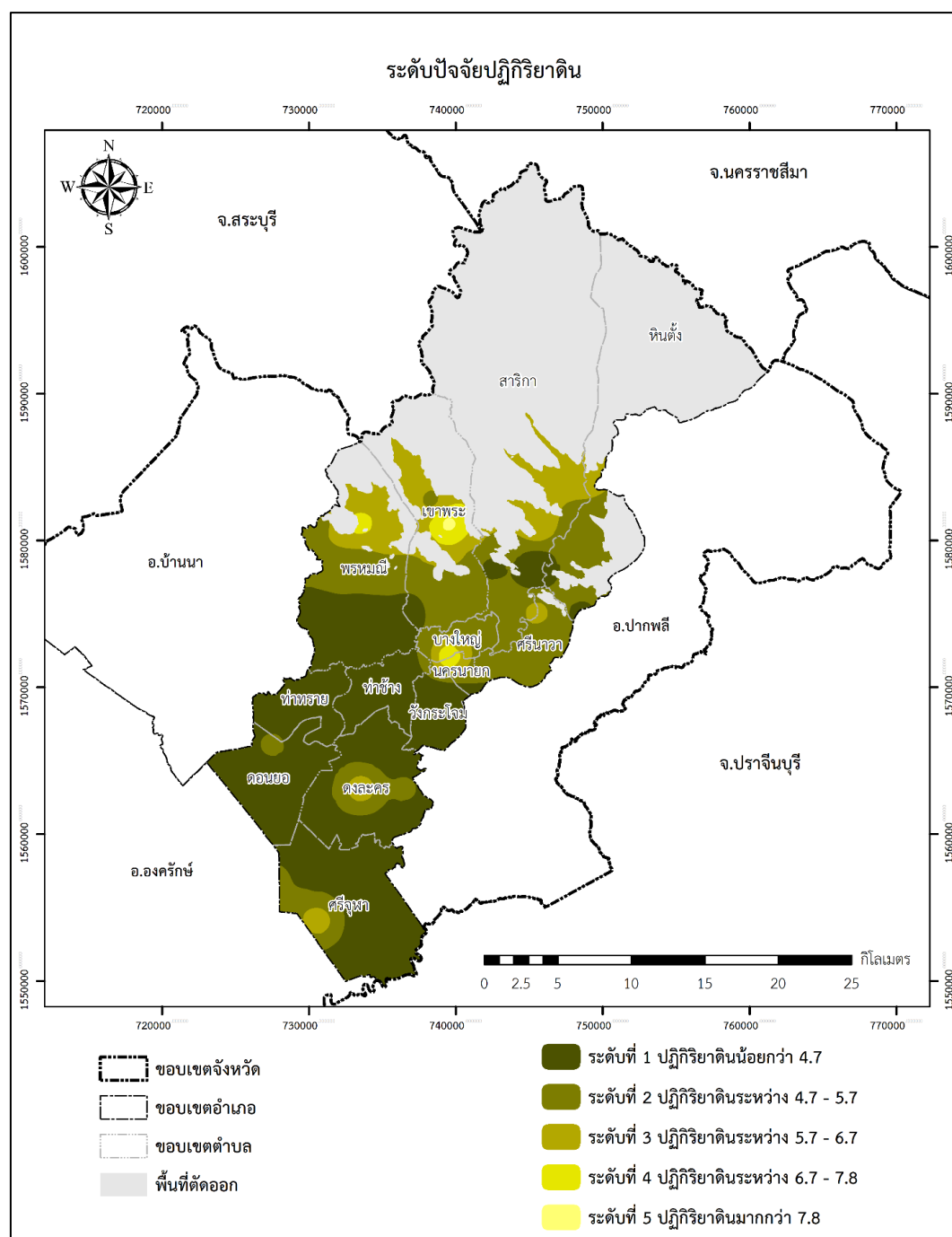
ระดับที่ 4 พื้นที่เสี่ยงน้อย มีค่า 0.45 – 0.55

ระดับที่ 5 พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด มีค่า 0.55 – 1

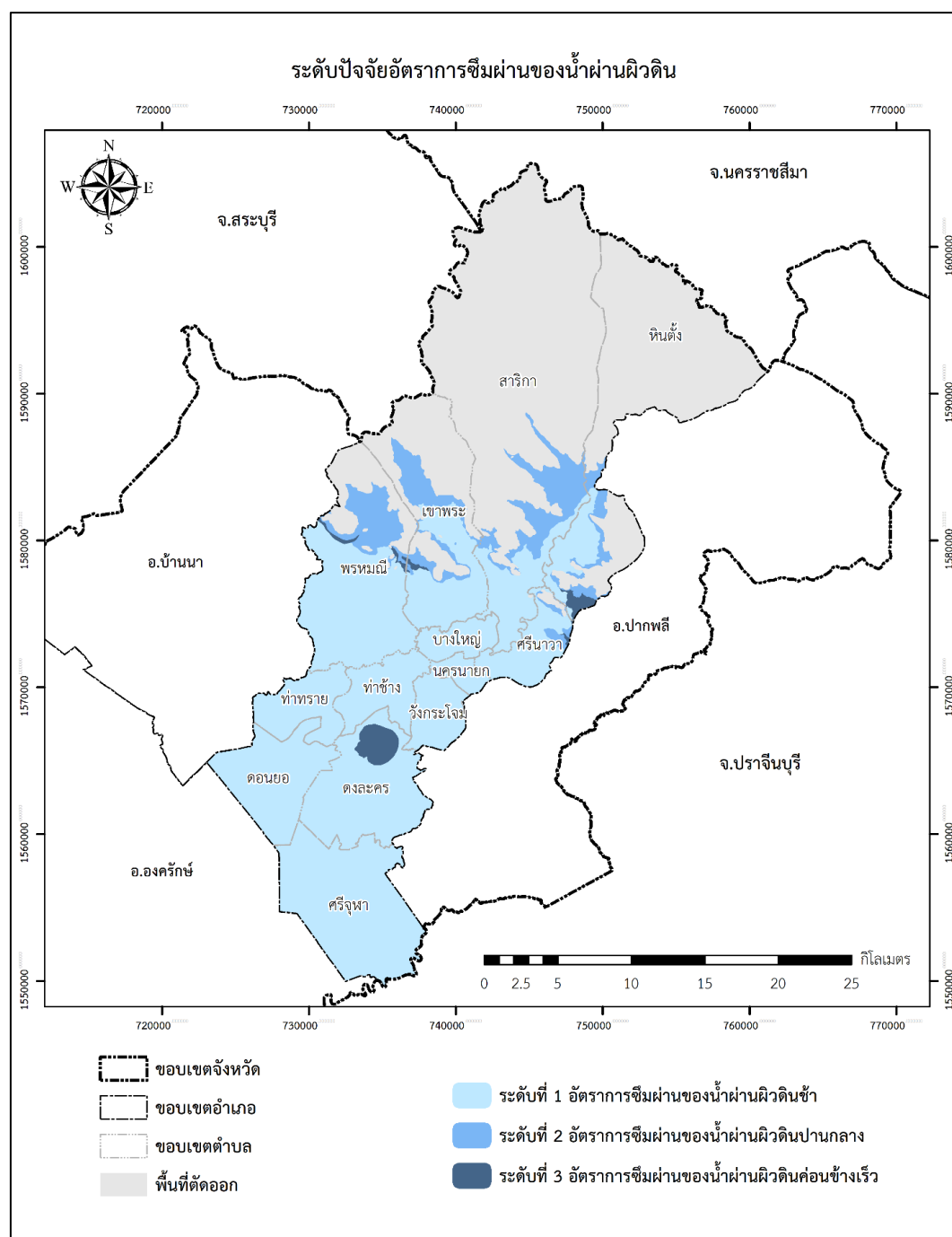
พื้นที่ศึกษามีดัชนีความชื้นของภูมิประเทศมากกว่า 0.55 มีพื้นที่ 4.07 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 0.93 พื้นที่ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศระหว่าง 0.45 – 0.55 มีพื้นที่ 84.77 หรือคิดเป็นร้อยละ 19.47 พื้นที่ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศระหว่าง 0.35-0.45 มีพื้นที่ 148.11 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 34.02 ดัชนีความชื้นของภูมิประเทศระหว่าง 0.25-0.35 มีพื้นที่ 154.91 หรือคิดเป็นร้อยละ 35.59 ซึ่งกระจุกตัวในตอนกลางของตำบลดงละคร และดัชนีความชื้นของภูมิประเทศน้อยกว่า 0.25 มีพื้นที่ 43.46 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 9.98



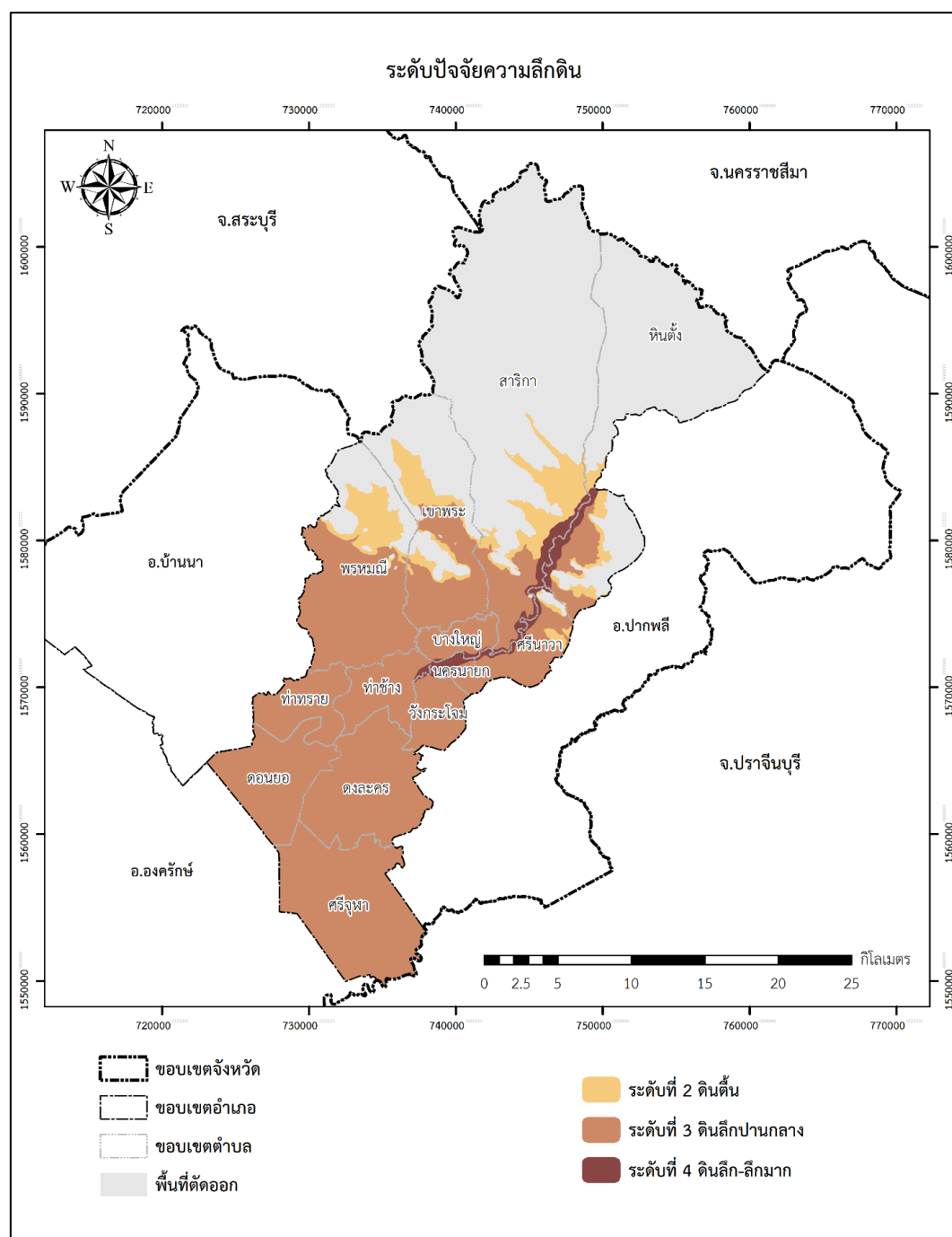
ภาพประกอบ 26 ปัจจัยเหน็ดดิน



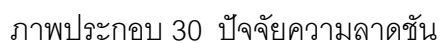
ภาพประกอบ 27 ปัจจัยปฏิกริยาดิน



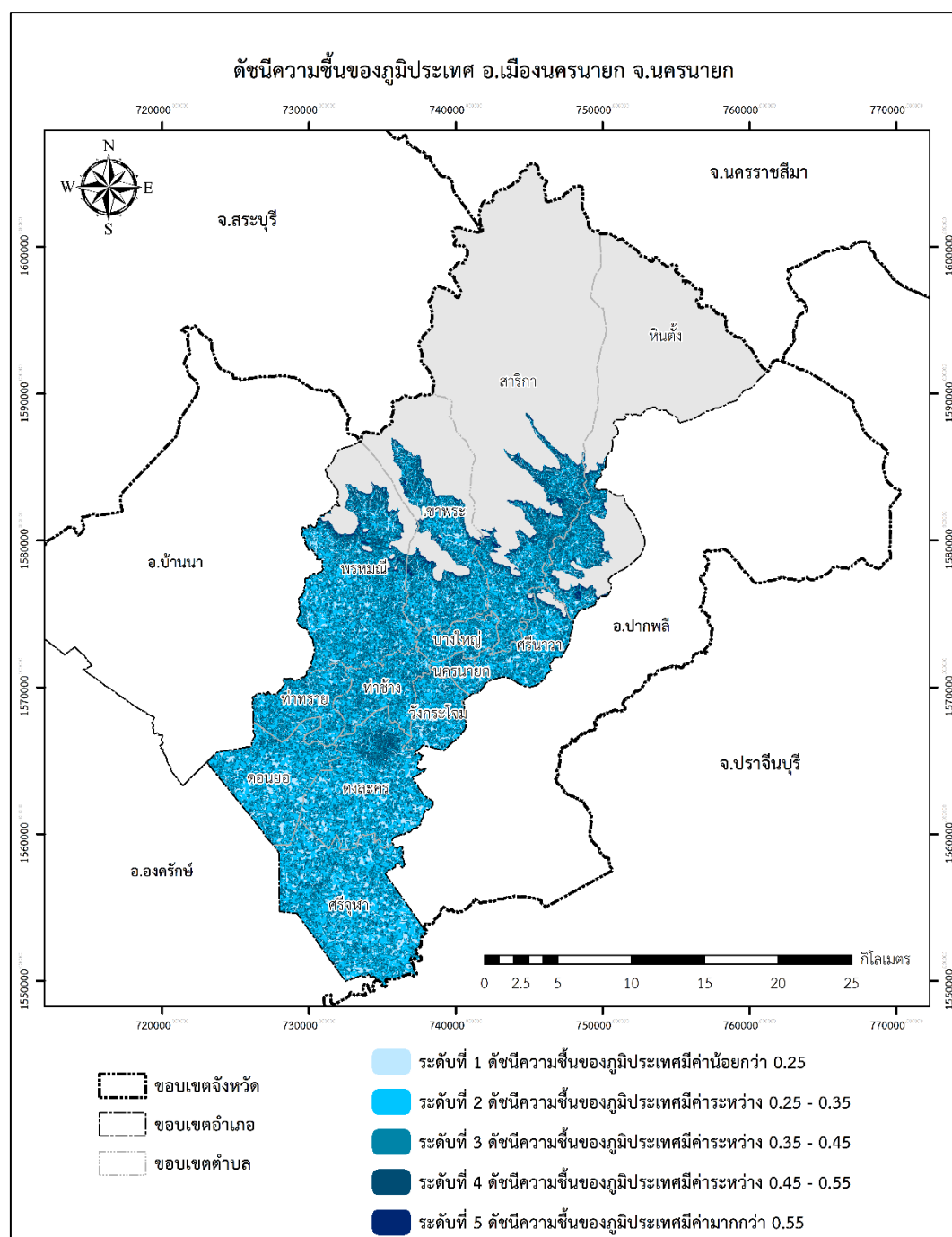
ภาพประกอบ 28 ปัจจัยอัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน



ภาพประกอบ 29 ปัจจัยความลึกของดิน



ภาพประกอบ 30 ปัจจัยความลาดชัน



ภาพประกอบ 31 ปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ

ผลลัพธ์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

เมื่อได้ค่าความสำคัญของปัจจัยและข้อมูลเชิงพื้นที่ของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาแล้ว จึงสามารถกำหนดระดับการจำแนกข้อมูล ค่าความสำคัญ ค่าคะแนน และคะแนนรวมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ดังตารางที่ 15 และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ ดังตารางที่ 16

การวิเคราะห์ประมาณพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอรีไฟรฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ นำเข้าประมวลผลผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถสร้างแผนที่พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอรีไฟรฟอสในดินด้วยการนำปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัยซ้อนทับกันและตัดพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่น้ำออก และรวมผลคูณของค่าความสำคัญและค่าคะแนน ทั้ง 6 ปัจจัย โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จัดแบ่งความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของพื้นที่ด้วยวิธีการคำนวณด้วยค่าสถิติแบบ Equal interval Classification ออกเป็น 5 กลุ่มตามการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ด้วยคะแนนดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด ช่วงคะแนน 0.245 ถึง 1.045

กลุ่มที่ 2 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อย ช่วงคะแนน 1.045 ถึง 1.845

กลุ่มที่ 3 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง ช่วงคะแนน 1.845 ถึง 2.645

กลุ่มที่ 4 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมาก ช่วงคะแนน 2.645 ถึง 3.445

กลุ่มที่ 5 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด ช่วงคะแนน 3.445 ถึง 4.245

และผลลัพธ์ที่ได้จัดแบ่งความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของพื้นที่ด้วยวิธีการคำนวณด้วยค่าสถิติแบบ Equal interval Classification ออกเป็น 5 กลุ่ม ตามการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นคลุมเครือ ด้วยคะแนนดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด ช่วงคะแนน 0.710 ถึง 1.510

กลุ่มที่ 2 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อย ช่วงคะแนน 1.510 ถึง 2.310

กลุ่มที่ 3 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง ช่วงคะแนน 2.310 ถึง 3.110

กลุ่มที่ 4 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมาก ช่วงคะแนน 3.110 ถึง 3.910

กลุ่มที่ 5 คือ พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด ช่วงคะแนน 3.910 ถึง 4.710

ตาราง 15 ลักษณะข้อมูล ค่าความสำคัญ ค่าคะแนนและคะแนนรวมของปัจจัยด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

ปัจจัย	ระดับการจำแนกข้อมูล	ค่า ความสำคัญ	ค่า คะแนน	คะแนน รวม
เนื้อดิน	ดินเหนียว เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.362	5	1.810
	ดินร่วนปนเหนียว เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	1.448
	ดินร่วน เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	1.086
	ดินทราย เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.724
	ดินกรวดหรือหิน เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.362
ปฏิกิริยา ดิน	น้อยกว่า 4.7 เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.240	5	1.200
	ระหว่าง 4.8 - 5.7 เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.960
	ระหว่าง 5.8 - 6.7 เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.720
	ระหว่าง 6.8 - 7.7 เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.480
	มากกว่า 7.7 เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.240
อัตรา การซึมผ่าน ของน้ำผ่าน ผิวดิน	การซึมของน้ำในดินช้า เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.138	5	0.690
	การซึมของน้ำในดินปานกลาง เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.552
	การซึมของน้ำในดินค่อนข้างเร็ว เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.414
	การซึมของน้ำในดินเร็ว เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.276
	การซึมของน้ำในดินเร็วมาก เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.138
ความลึก ของดิน	ดินตื้นมาก เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.130	5	0.650
	ดินตื้น เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.520
	ดินลึกปานกลาง เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.390
	ดินลึก-ลึกมาก เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.260
ความลาด ชัน	ความลาดชันมากกว่า 23 องศา เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.081	5	0.405
	ความลาดชัน 15 - 23 องศา เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.324
	ความลาดชัน 9 - 15 องศา เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.243
	ความลาดชัน 5 - 9 องศา เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.162
	ความลาดชันน้อยกว่า 5 องศา เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.081
ดัชนี ความชื้น ของภูมิ ประเทศ	มีค่า 0 - 0.25 เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.049	5	0.245
	มีค่า 0.25 - 0.35 เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.196
	มีค่า 0.35 - 0.45 เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.147
	มีค่า 0.45 - 0.55 เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.098
	มีค่า 0.55 - 1 เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.049

ตาราง 16 ลักษณะข้อมูล ค่าความสำคัญ ค่าคะแนนและคะแนนรวมของปัจจัยด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

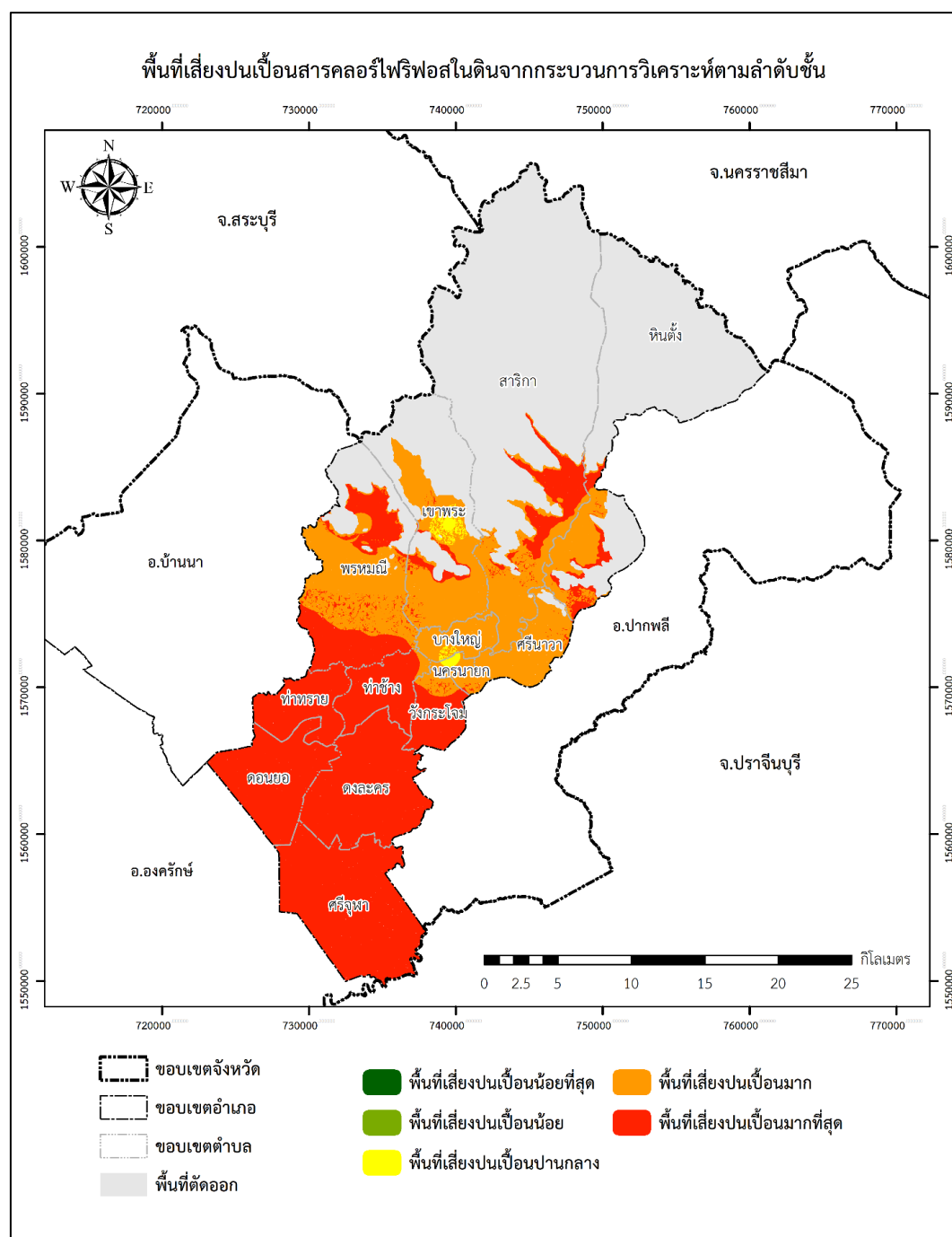
ปัจจัย	ระดับการจำแนกข้อมูล	ค่า ความสำคัญ	ค่า คะแนน	คะแนน รวม
เนื้อดิน	ดินเหนียว เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.194	5	0.970
	ดินร่วนปนเหนียว เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.776
	ดินร่วน เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.582
	ดินทราย เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.388
	ดินกรวดหรือหิน เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.194
ปฏิกิริยา ดิน	น้อยกว่า 4.7 เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.181	5	0.905
	ระหว่าง 4.8 - 5.7 เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.742
	ระหว่าง 5.8 - 6.7 เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.543
	ระหว่าง 6.8 - 7.7 เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.362
	มากกว่า 7.7 เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.181
อัตรา การซึมผ่าน ของน้ำผ่าน ผิวดิน	การซึมของน้ำในดินช้า เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.162	5	0.810
	การซึมของน้ำในดินปานกลาง เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.648
	การซึมของน้ำในดินค่อนข้างเร็ว เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.486
	การซึมของน้ำในดินเร็ว เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.324
	การซึมของน้ำในดินเร็วมาก เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.162
ความลึก ของดิน	ดินตื้นมาก เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.165	5	0.825
	ดินตื้น เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.660
	ดินลึกปานกลาง เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.495
	ดินลึก-ลึกมาก เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.330
ความลาด ชัน	ความลาดชันมากกว่า 23 องศา เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.155	5	0.775
	ความลาดชัน 15 - 23 องศา เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.620
	ความลาดชัน 9 - 15 องศา เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.465
	ความลาดชัน 5 - 9 องศา เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.310
	ความลาดชันน้อยกว่า 5 องศา เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.155
ดัชนี ความชื้น ของภูมิ ประเทศ	มีค่า 0 - 0.25 เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	0.142	5	0.710
	มีค่า 0.25 - 0.35 เสี่ยงปนเปื้อนมาก		4	0.568
	มีค่า 0.35 - 0.45 เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง		3	0.426
	มีค่า 0.45 - 0.55 เสี่ยงปนเปื้อนน้อย		2	0.284
	มีค่า 0.55 - 1 เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด		1	0.142

จากตารางที่ 15 เมื่อนำข้อมูลจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเข้าสู่กระบวนการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถสร้างแผนที่พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอรีนฟอสในดินด้วยการนำปัจจัยทั้งหมดซ้อนทับกัน พบว่ามีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 1.985 ถึง 4.183 และจัดแบ่งความเสี่ยงของพื้นที่ด้วยค่าสถิติแบบ Equal interval พบว่า กลุ่มที่ 1 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด ช่วงคะแนน 0.245 ถึง 1.045 และ กลุ่มที่ 2 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อย ช่วงคะแนน 1.045 ถึง 1.845 อยู่ในพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งเป็นพื้นที่ลาดเชิงชันและพื้นที่น้ำที่ตัดออก กลุ่มที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง ช่วงคะแนน 1.845 ถึง 2.645 มีขนาดพื้นที่ 4.018 ตารางกิโลเมตร กลุ่มที่ 4 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมาก ช่วงคะแนน 2.645 ถึง 3.445 มีขนาดพื้นที่ 158.519 ตารางกิโลเมตร กลุ่มที่ 5 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด ช่วงคะแนน 3.445 ถึง 4.245 มีขนาดพื้นที่ 272.527 แสดงผลการศึกษาในตาราง 17 และภาพประกอบ 32

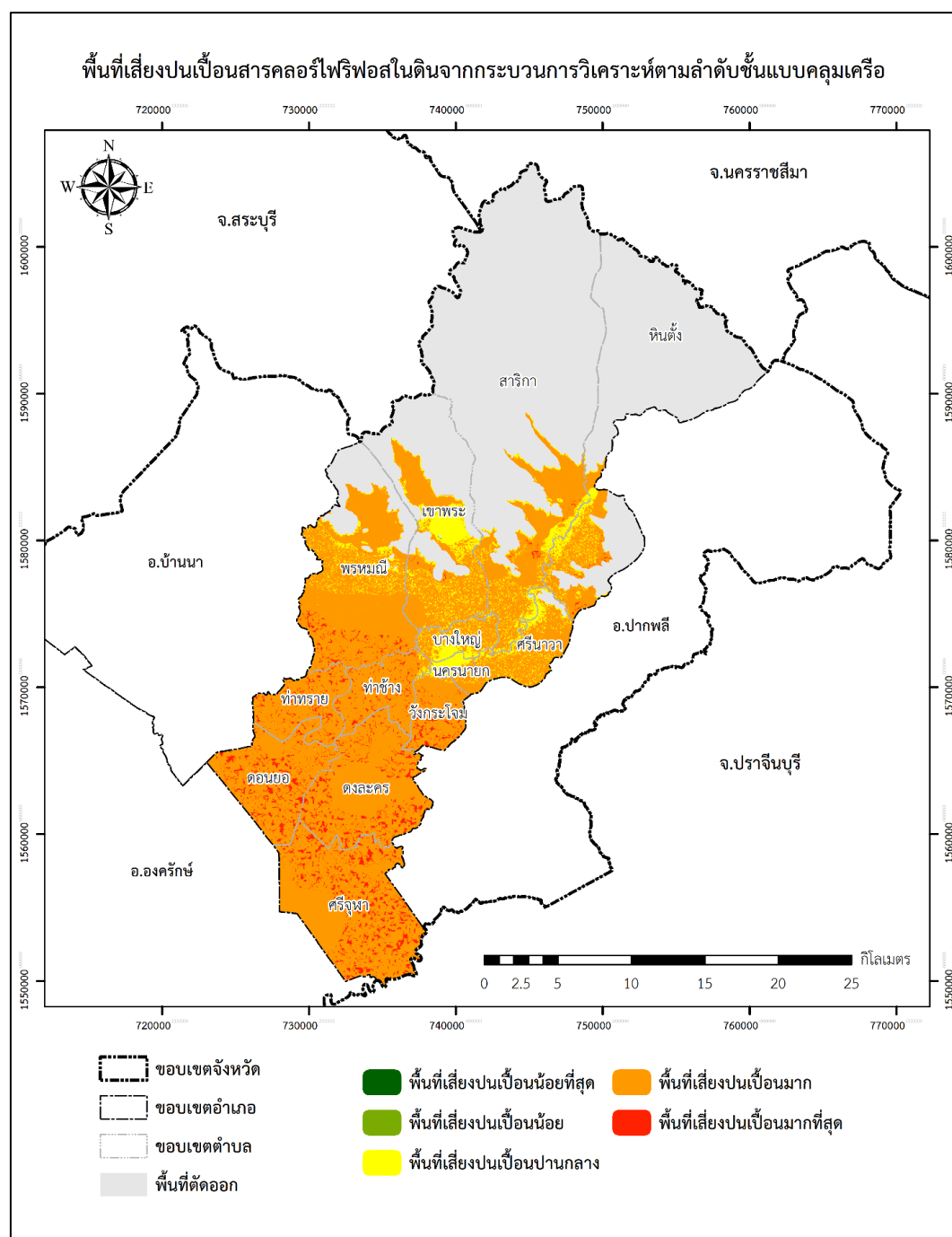
จากตารางที่ 16 เมื่อนำข้อมูลจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือเข้าสู่กระบวนการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถสร้างแผนที่พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอรีนฟอสในดินด้วยการนำปัจจัยทั้งหมดซ้อนทับกัน พบว่ามีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 1.617 ถึง 4.150 และจัดแบ่งความเสี่ยงของพื้นที่ด้วยค่าสถิติแบบ Equal interval พบว่า กลุ่มที่ 1 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อยที่สุด ช่วงคะแนน 0.710 ถึง 1.510 พบในพื้นที่ป่าซึ่งเป็นพื้นที่ลาดเชิงชันและพื้นที่น้ำที่ตัดออก กลุ่มที่ 2 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อย ช่วงคะแนน 1.510 ถึง 2.310 มีขนาดพื้นที่ 0.081 ตารางกิโลเมตร กลุ่มที่ 3 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง ช่วงคะแนน 2.310 ถึง 3.110 มีขนาดพื้นที่ 42.734 ตารางกิโลเมตร กลุ่มที่ 4 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมาก ช่วงคะแนน 3.110 ถึง 3.910 มีขนาดพื้นที่ 368.757 ตารางกิโลเมตร กลุ่มที่ 5 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด ช่วงคะแนน 3.910 ถึง 4.710 มีขนาดพื้นที่ 23.492 ตารางกิโลเมตร แสดงผลการศึกษาในตาราง 17 และภาพประกอบ 33

ตาราง 17 ขนาดพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอรีนฟอสในแต่ละกลุ่ม

	กระบวนการวิเคราะห์ ตามลำดับชั้น		กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น แบบคลุมเครือ	
	พื้นที่ (ตร.กม)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม)	ร้อยละ
พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด	-	-	-	-
พื้นที่เสี่ยงน้อย	-	-	0.082	0.02
พื้นที่เสี่ยงปานกลาง	4.018	0.92	42.754	9.83
พื้นที่เสี่ยงมาก	158.519	36.44	368.778	84.76
พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด	272.527	62.64	23.492	5.39



ภาพประกอบ 32 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสในดินจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น



ภาพประกอบ 33 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสในดินจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นคลุมเครือ

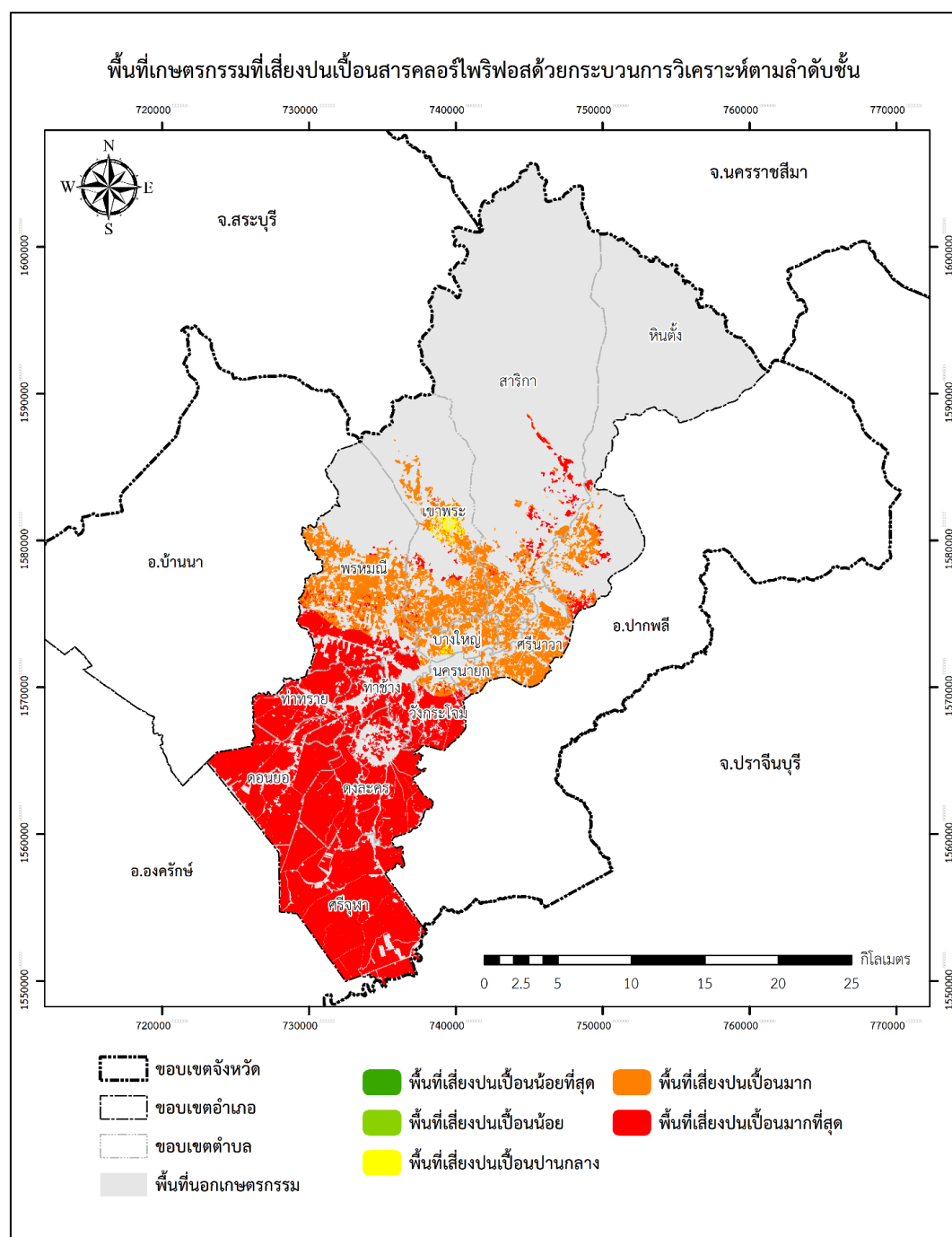
จากภาพประกอบ 32 และภาพประกอบ 33 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสในดินคือพื้นที่สีแดง มีพื้นที่ที่มีค่าคะแนนรวมของทุกปัจจัยสูงสุดจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ ที่ 4.183 และ 4.150 ตามลำดับ ซึ่งค่าคะแนน

รวมสูงที่สุดจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีการกระจายตัวอยู่ในทางใต้ของพื้นที่ศึกษา
ครอบคลุม ตำบลศรีจุฬา ตำบลดงละคร ตำบลท่าช้าง ตำบลวังกระโจม ตำบลดอนยอ ตำบล
ท่าทราย และทางใต้ของตำบลพรหมณี ส่วนค่าคะแนนรวมสูงที่สุดจากกระบวนการวิเคราะห์ลำดับ
ชั้น มีกระจุกตัวอยู่ที่ตำบลสาริกา

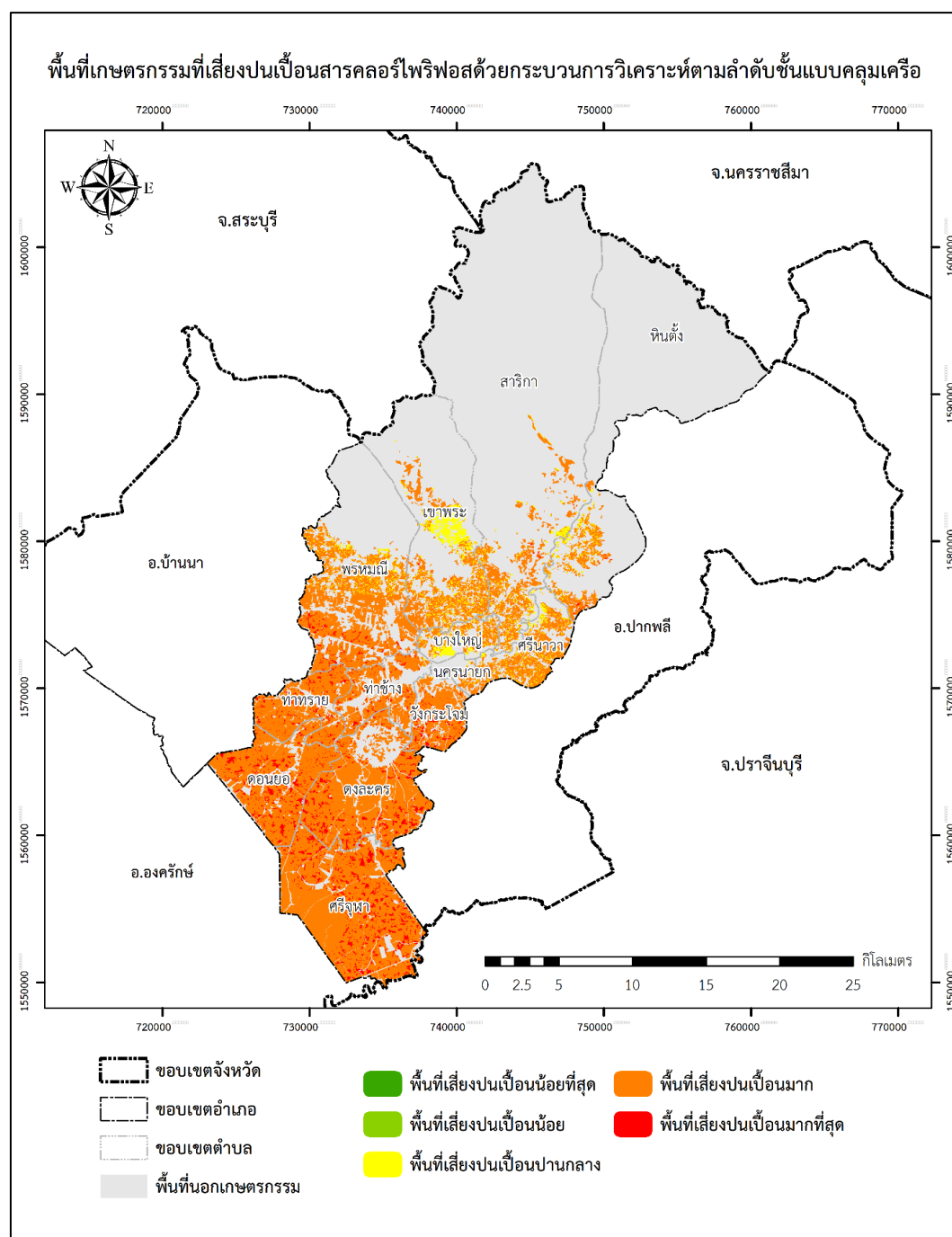
เนื่องจากสารคลอไรด์คลอรีไฟรฟอสเป็นสารที่ใช้ในภาคการเกษตรเพื่อกำจัดแมลงศัตรูพืช
จึงทำการคัดเลือกพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอไรด์ไฟรฟอสในพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์
ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ.2565 ซึ่งมีพื้นที่ 288.234 ตารางกิโลเมตร จากการวิเคราะห์ด้วย
กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่า พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด มีพื้นที่ 204.204 ตารางกิโลเมตร
คิดเป็นร้อยละ 70.80 ของพื้นที่เกษตรกรรมในอำเภอเมืองนครนายก และด้วยกระบวนการวิเคราะห์
ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือพื้นที่เสี่ยงมากที่สุด มีพื้นที่ 20.215 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.01
ของพื้นที่เกษตรกรรมในอำเภอเมืองนครนายกในตาราง 18 และแสดงผลในภาพประกอบ 34 และ
ภาพประกอบ 35 ตามลำดับ

ตาราง 18 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอไรด์ไฟรฟอสในการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่
เกษตรกรรม

	กระบวนการวิเคราะห์ ตามลำดับชั้น		กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น แบบคลุมเครือ	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่เสี่ยงน้อยที่สุด	-	-	-	-
พื้นที่เสี่ยงน้อย	-	-	0.035	0.01
พื้นที่เสี่ยงปานกลาง	2.004	0.69	17.982	6.24
พื้นที่เสี่ยงมาก	82.170	28.51	250.002	86.74
พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด	204.060	70.80	20.215	7.01



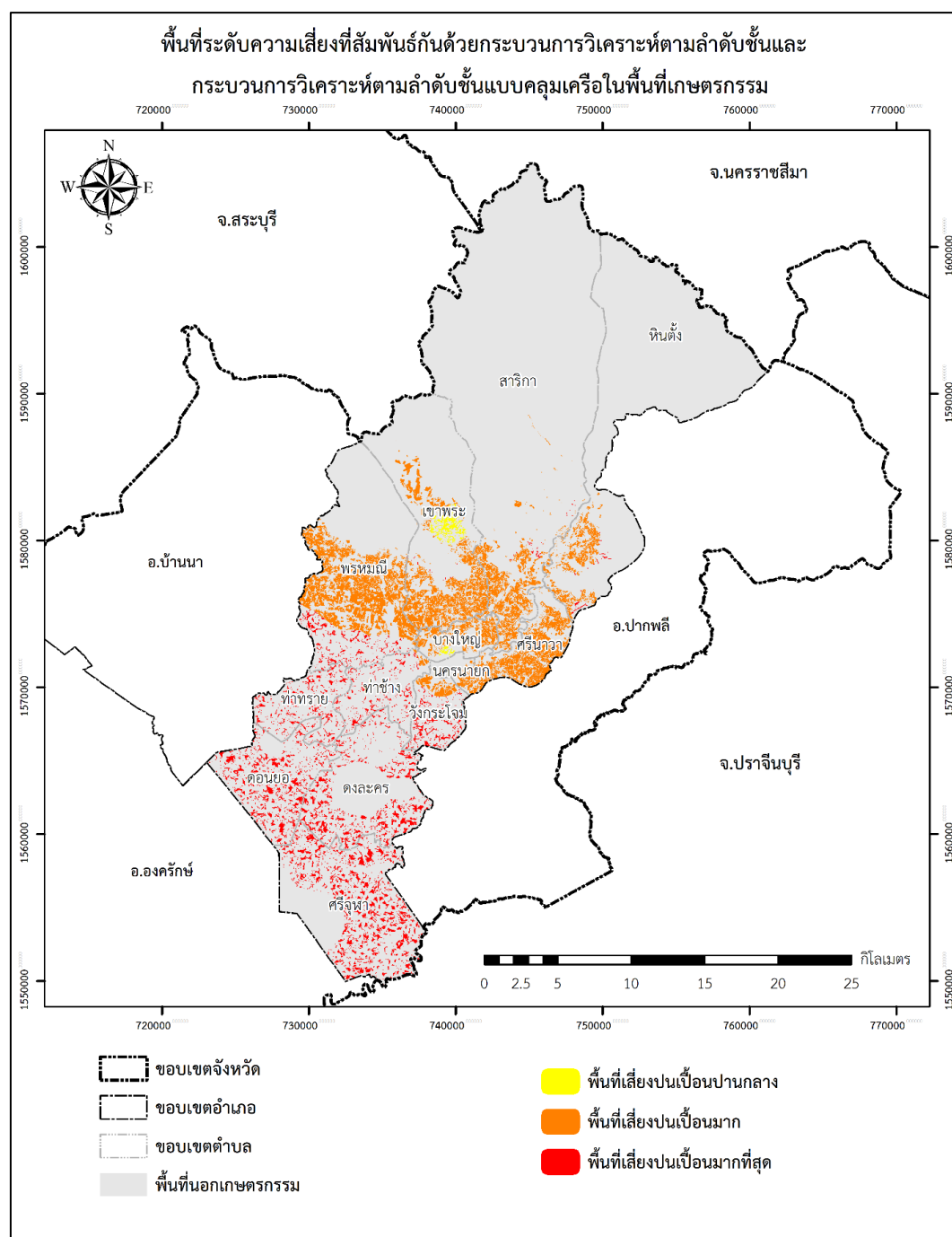
ภาพประกอบ 34 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น



ภาพประกอบ 35 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีนไฟรฟอสด้วยกระบวนการ
วิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

จากการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอรีนไฟรฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นแบบคลุมเครือ พบว่ามีพื้นที่ที่มีผลลัพธ์ที่สัมพันธ์กัน 88.45 ตารางกิโลเมตร แยกเป็น พื้นที่เสี่ยงระดับมากที่สุด 20.22 ตารางกิโลเมตร กระจายในส่วนล่างของอำเภอเมืองนครนายกทั้งหมดตั้งแต่ ตำบลท่าทราย ตำบลท่าช้าง ตำบลวังกระโจม ตำบลดอนยอ ตำบลดงละครและตำบลศรีจุฬา พื้นที่เสี่ยงระดับมาก 66.26 ตารางกิโลเมตร กระจายในส่วนกลางของอำเภอเมืองนครนายก ตั้งแต่ตำบลบางใหญ่ ตำบลนครนายก ตำบลศรีนาวา ส่วนล่างของตำบลพรหมณี ตำบลเขาพระ ตำบลสาธิตาและตำบลหินตั้ง พื้นที่เสี่ยงระดับปานกลาง 1.98 ตารางกิโลเมตร กระจุกเป็นกลุ่มในพื้นที่ตรงกลางของตำบลสาธิตาและตำบลบางใหญ่ ดังแสดงในภาพประกอบ 36





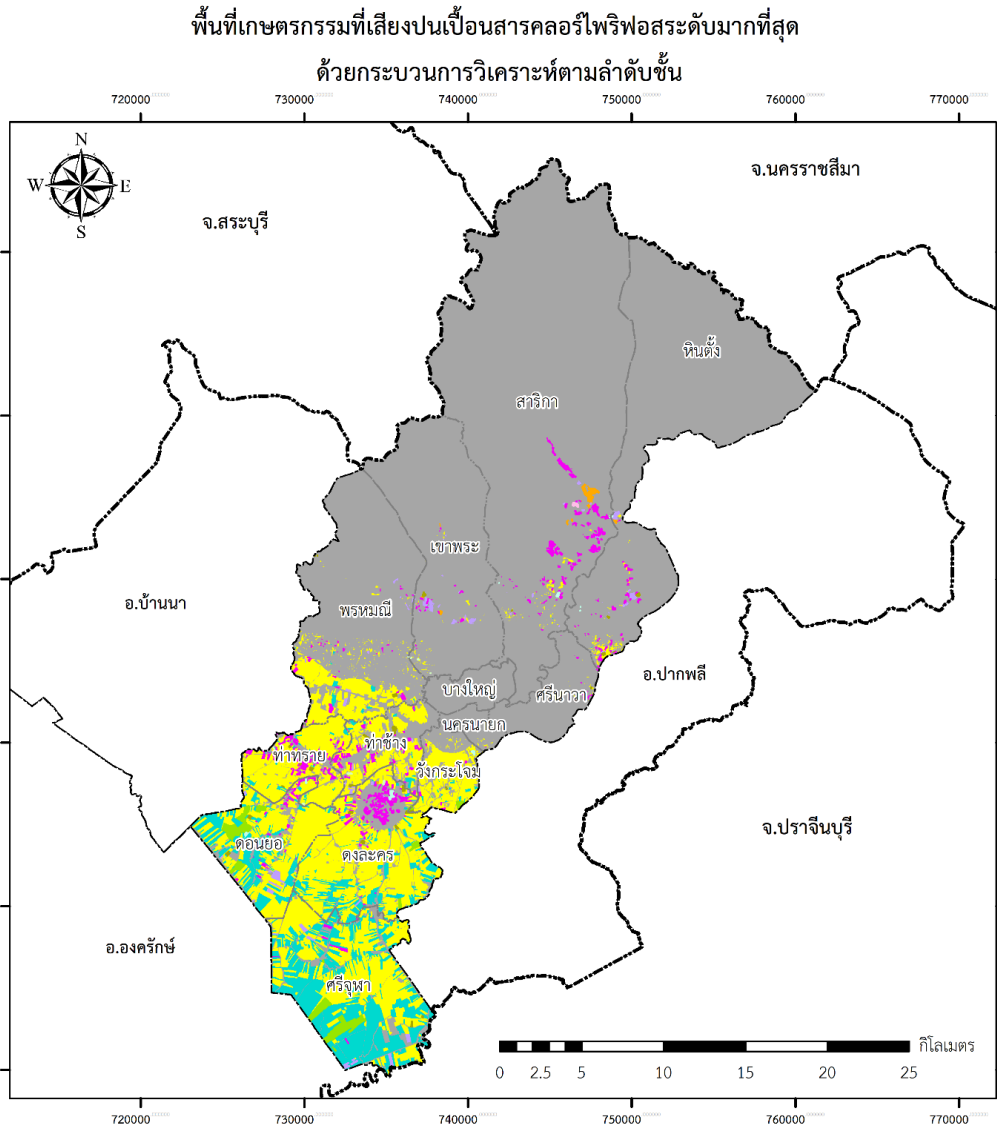
ภาพประกอบ 36 พื้นที่ระดับความเสี่ยงที่สัมพันธ์กันด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น
และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือในพื้นที่เกษตรกรรม

จากภาพประกอบ 34 และภาพประกอบ 35 สามารถจำแนกความเสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอรีนไฟฟอสในดินตามการจำแนกการใช้ประโยชน์ประเภทพื้นเกษตรกรรม ระดับที่ 2 จากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ พื้นที่นาข้าวมีขนาดพื้นที่มากที่สุดในการเสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด เสี่ยงปนเปื้อนมาก เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง โดยมีขนาดพื้นที่ตามกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น คือ 138.13 ตารางกิโลเมตร 66.71 ตารางกิโลเมตร และ 1.84 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ คือ 13.67 ตารางกิโลเมตร 178.97 ตารางกิโลเมตร และ 14.08 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับความเสี่ยง ดังแสดงในตาราง 19 และแสดงแผนที่ระดับการปนเปื้อนตามการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทการเกษตรดังภาพประกอบ 37 ถึงภาพประกอบ 42

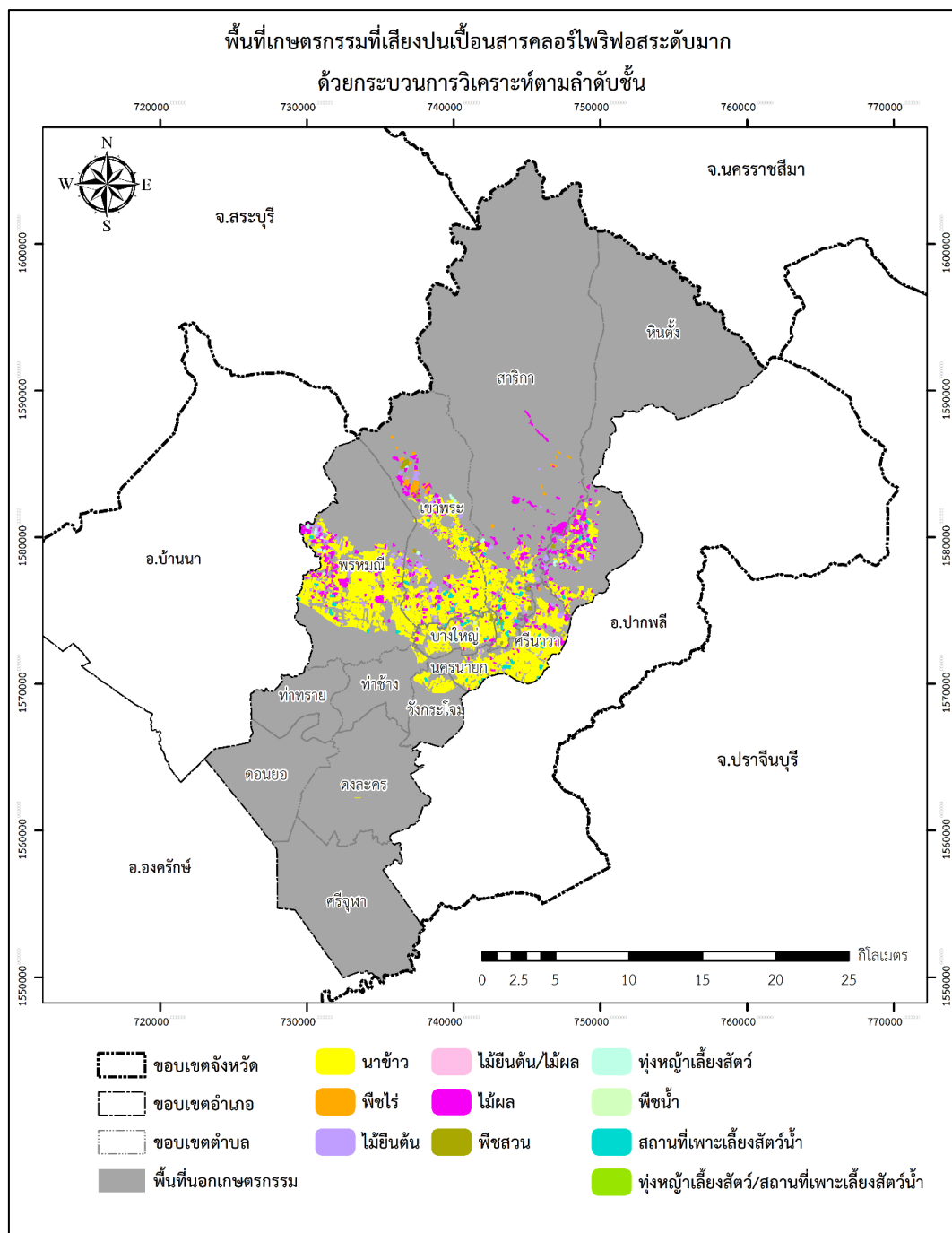
ตาราง 19 พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนของสารคลอรีนไฟฟอสในดินตามการจำแนกการใช้ประโยชน์ประเภทพื้นเกษตรกรรม ระดับที่ 2

	เสี่ยงมากที่สุด		เสี่ยงมาก		เสี่ยงปานกลาง		เสี่ยงน้อย
	AHP	FAHP	AHP	FAHP	AHP	FAHP	FAHP
นาข้าว	138.126	13.673	66.714	178.968	1.836	14.084	0.0308
พืชไร่	0.662	0.003	0.773	1.358		0.072	0.0001
ไม้ยืนต้น	2.476	0.224	2.623	4.307	0.033	0.600	0.0011
ไม้ยืนต้น/ไม้ผล	0.054		0.064	0.109	0.007	0.016	
ไม้ผล	8.041	0.458	9.890	14.818	0.116	2.768	0.0027
พืชสวน	0.587	0.042	0.582	1.019	0.001	0.110	
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	0.197	0.022	0.276	0.404		0.048	
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์/สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	4.379	0.409	0.010	3.970	0.002	0.012	
พืชน้ำ	0.049	0.005	0.051	0.94		0.001	
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	49.483	5.376	1.103	44.950	0.008	0.267	0.0008

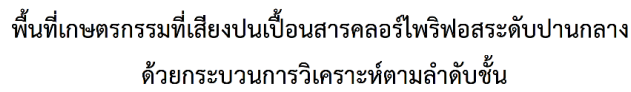
หน่วย ตารางกิโลเมตร



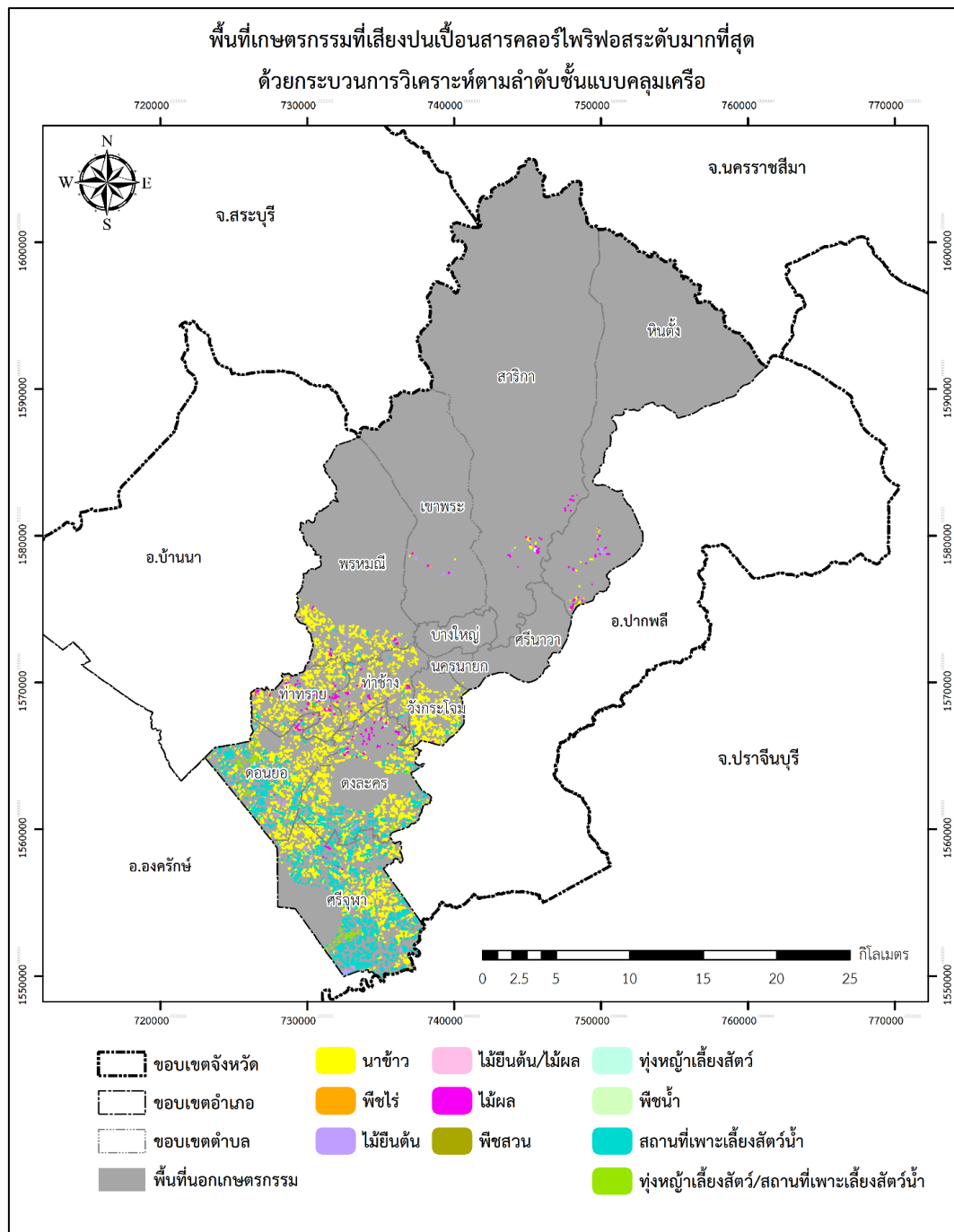
ภาพประกอบ 37 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสระดับมากที่สุด
ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น



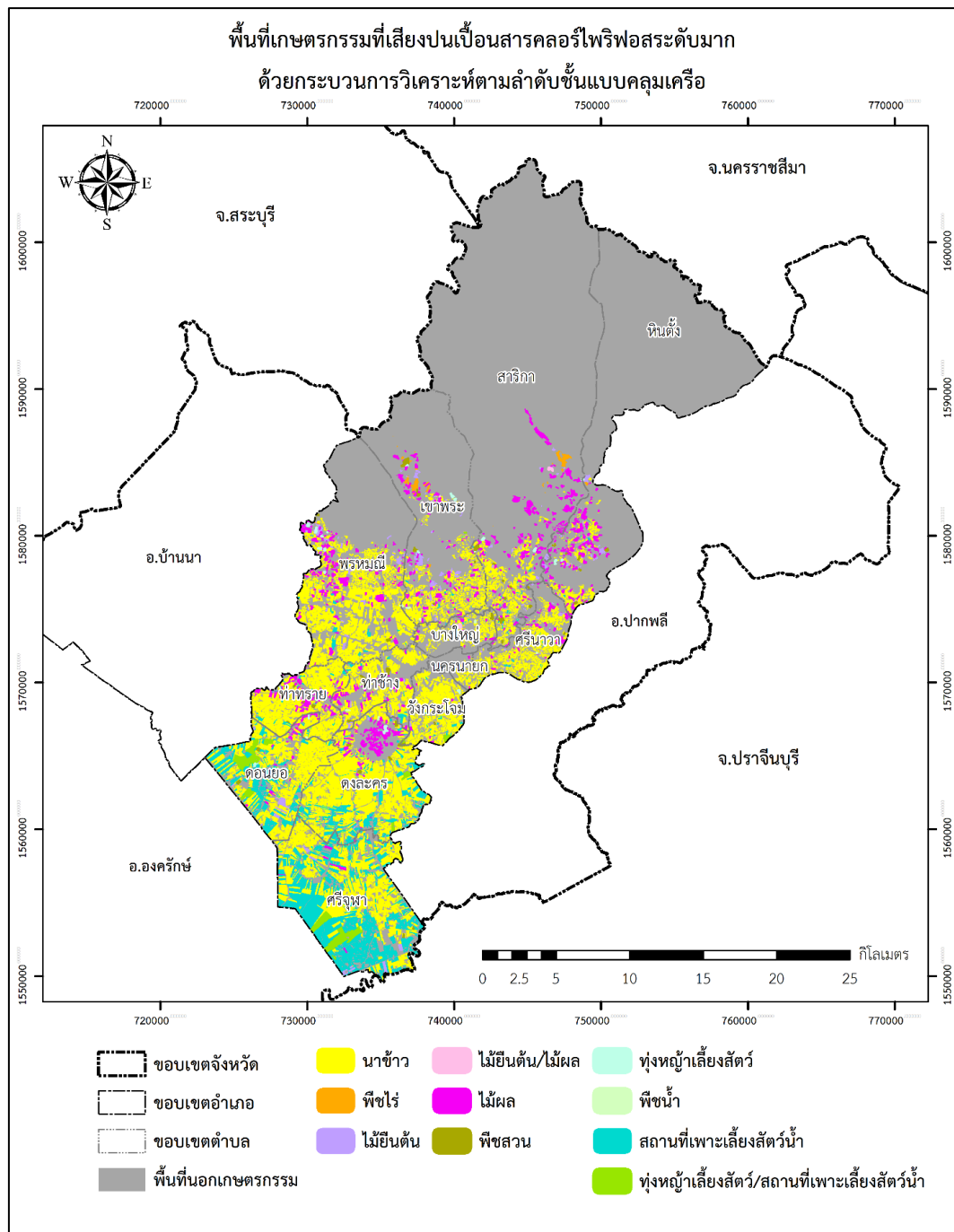
ภาพประกอบ 38 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสระดับมาก
ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น



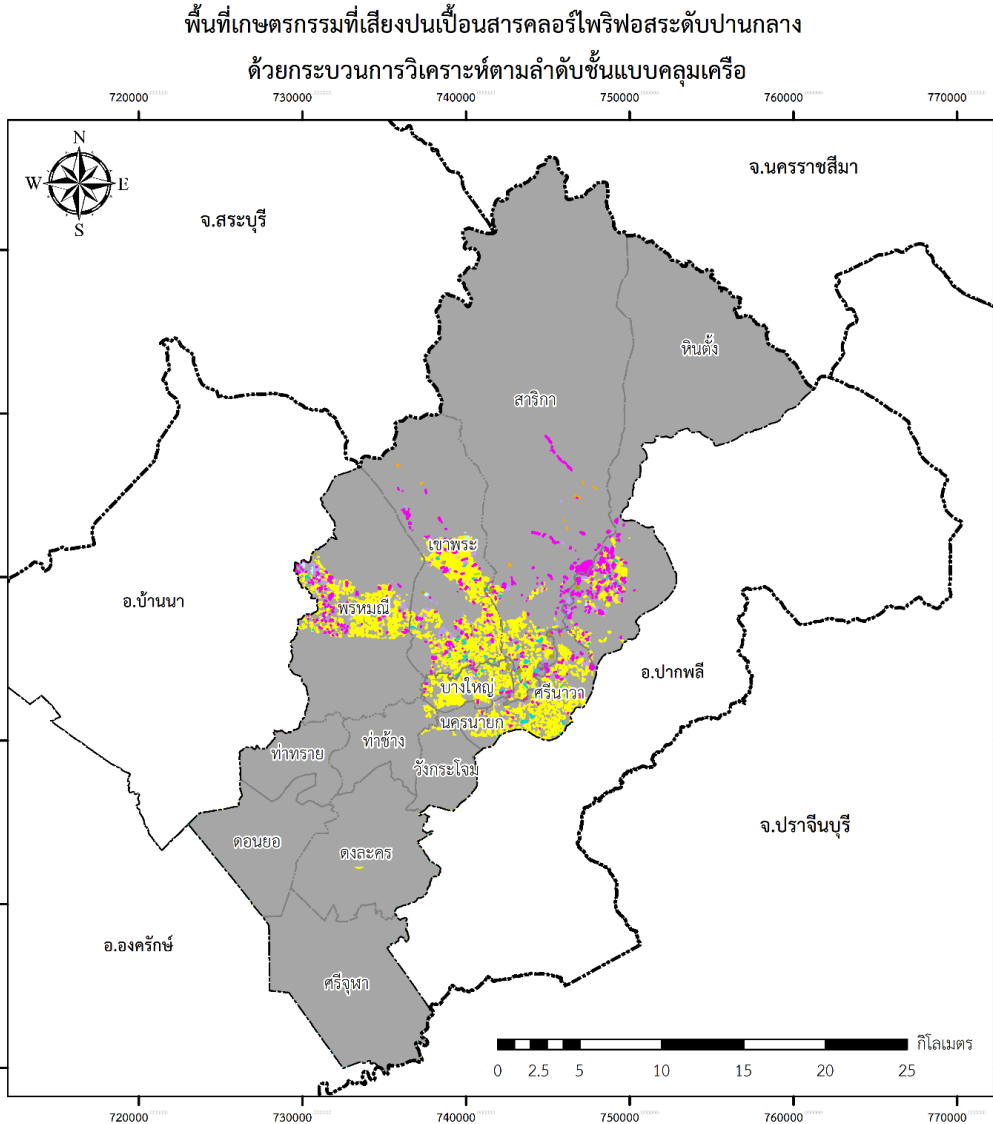
ภาพประกอบ 39 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีนฟรีฟอสระดับปานกลาง
ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น



ภาพประกอบ 40 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสระดับมากที่สุด
ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ



ภาพประกอบ 41 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไฟรฟอสระดับมาก
ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ



ภาพประกอบ 42 พื้นที่เกษตรกรรมที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีโฟรฟอสระดับปานกลาง
ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ

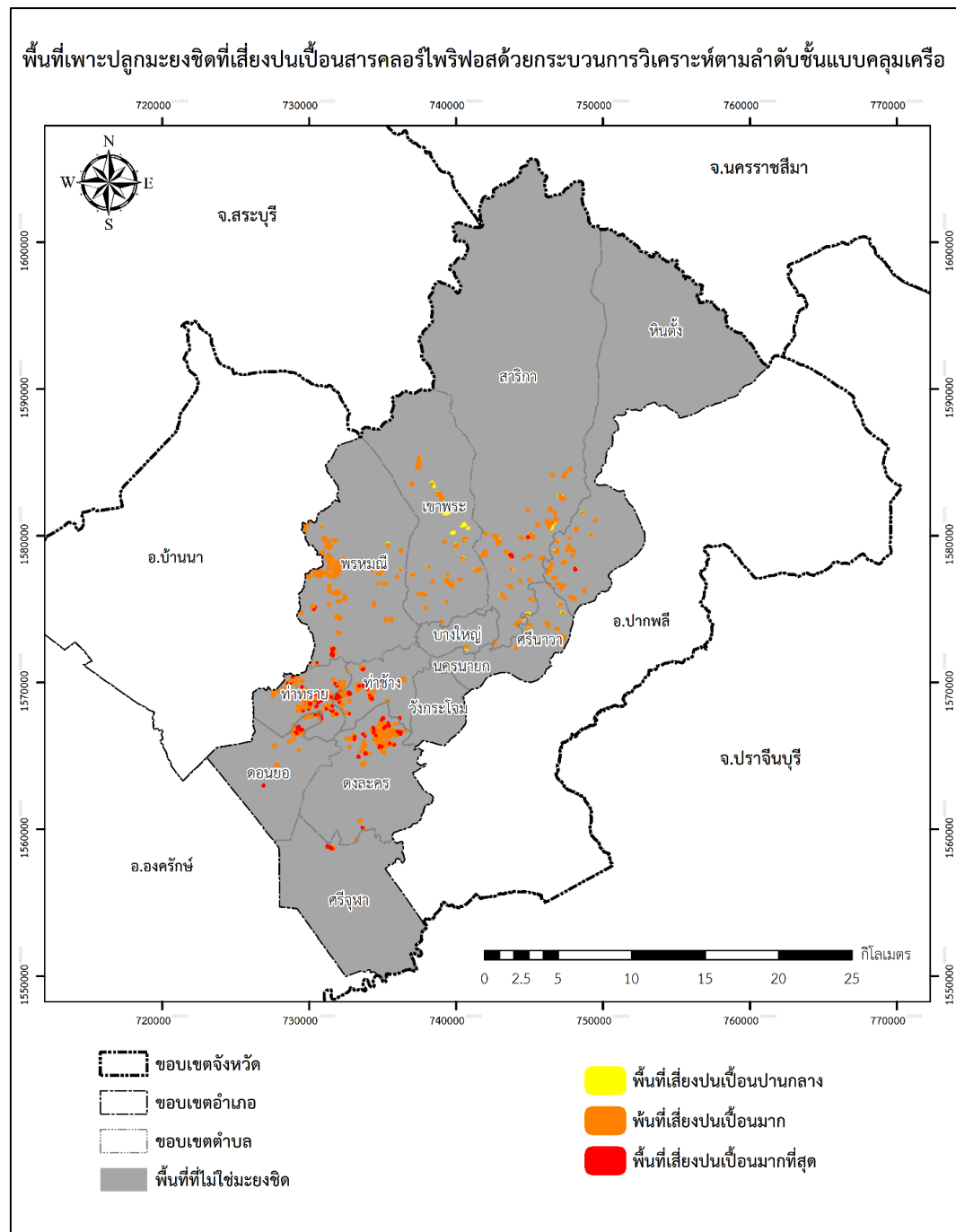
มะยงชิดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดนครนายก พื้นที่เพาะปลูกในปี พ.ศ. 2565 เท่ากับ 3,380.83 ไร่ ในการวิเคราะห์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีพื้นที่ปลูกมะยงชิดมีความเสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด 2,099.06 ไร่ มีการกระจุกในพื้นที่เพาะปลูกมะยงชิดทั้งหมดของตำบลดงละคร ตำบลท่าทราย ตำบลท่าช้าง ความเสี่ยงปนเปื้อนมาก 1,258.42 ไร่ มีการกระจายในพื้นที่เพาะปลูกมะยงชิดของตำบลพรหมณี ตำบลเขาพระ ตำบลสาริกา ตำบลหินตั้งและตำบลศรีนาวา ความเสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง 23.34 ไร่ และการวิเคราะห์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุ่มเครือ มีพื้นที่ปลูกมะยงชิดมีความเสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด 141.32 ไร่ มีการกระจายในพื้นที่เพาะปลูกมะยงชิดบางส่วนของตำบลดงละคร ตำบลท่าทราย ตำบลท่าช้าง ความเสี่ยงปนเปื้อนมาก 2,911.09 ไร่ มีการกระจุกในพื้นที่เพาะปลูกมะยงชิดของตำบลดงละคร ตำบลท่าทราย ตำบลท่าช้างและตำบลพรหมณีมากที่สุด และกระจายในพื้นที่เพาะปลูกมะยงชิดบางส่วนของตำบลสาริกา ตำบลเขาพระ ตำบลหินตั้งและตำบลศรีนาวา ความเสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง 327.80 ไร่ ความเสี่ยงปนเปื้อนน้อย 0.61 ไร่ ดังแสดงตาราง 20 และภาพประกอบ 43 และภาพประกอบ 44

ตาราง 20 ขนาดพื้นที่ปลูกมะยงชิดที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสแต่ละระดับรายตำบล

	กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น			กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุ่มเครือ		
	ตำบล	พื้นที่	พื้นที่รวม	ตำบล	พื้นที่	พื้นที่รวม
พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด	ดงละคร	694.73	2,099.06	ดงละคร	24.22	141.32
	ดอนยาย	159.48		ดอนยาย	14.05	
	ท่าช้าง	339.45		ท่าช้าง	43.19	
	ท่าทราย	564.63		ท่าทราย	39.80	
	พรหมณี	118.53		พรหมณี	11.63	
	สาริกา	145.58		สาริกา	3.79	
	ศรีจุฬา	45.08		ศรีจุฬา	2.59	
	หินตั้ง	24.15		หินตั้ง	2.05	
	ศรีนาวา	2.62				
	เขาพระ	4.81				

ตาราง 20 (ต่อ)

	กระบวนการวิเคราะห์			กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น		
	ตามลำดับชั้น			แบบคลุมเครือ		
	ตำบล	พื้นที่	พื้นที่รวม	ตำบล	พื้นที่	พื้นที่รวม
พื้นที่เสี่ยง ปนเปื้อนมาก	เขาพระ	227.05	1,258.42	เขาพระ	166.46	2907.66
	บางใหญ่	11.40		บางใหญ่	4.22	
	พรหมณี	517.84		พรหมณี	568.15	
	ศรีนาวา	68.24		ศรีนาวา	54.81	
	สาริกา	278.93		สาริกา	317.08	
	หินตั้ง	154.95		หินตั้ง	120.83	
				ดงละคร	670.50	
				ดอนยอ	145.44	
				ท่าช้าง	296.25	
				ท่าทราย	524.83	
พื้นที่เสี่ยง ปนเปื้อน ปานกลาง	เขาพระ	22.97	23.32	เขาพระ	88.14	327.80
	พรหมณี	0.35		พรหมณี	56.59	
				บางใหญ่	7.17	
				ศรีนาวา	16.05	
				สาริกา	103.65	
				หินตั้ง	56.20	
พื้นที่เสี่ยง ปนเปื้อนน้อย 1				เขาพระ	0.23	0.58
				พรหมณี	0.35	



ภาพประกอบ 44 พื้นที่เพาะปลูกมะยงชิดที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ

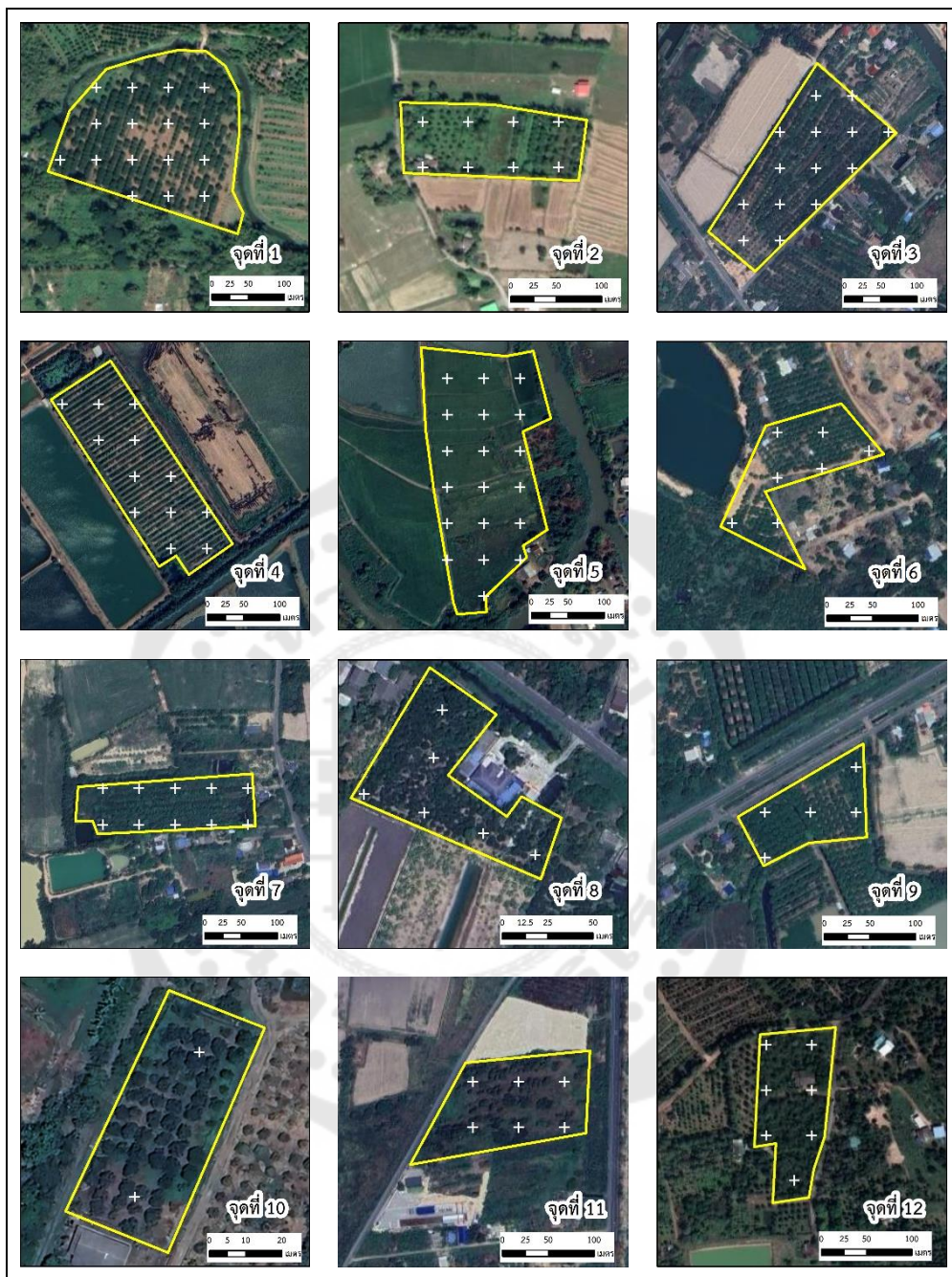
ผลลัพธ์การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอรีไพริฟอส ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุ่มเครือ

การเก็บตัวอย่างดิน

เป็นการตรวจวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของสารคลอรีไพริฟอสในดินของพื้นที่เกษตรกรรมอำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก โดยทำการเก็บตัวอย่างดินแบบสุ่ม (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 12 ตัวอย่างในแต่ละระดับความเสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไพริฟอส จำแนกในตาราง 21 และแสดงตำแหน่งเก็บตัวอย่างในภาพประกอบ 43 โดยเก็บตัวอย่างในแปลงตัวอย่างแบบมีระบบ (system sampling) จากนั้นนำมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำใส่ภาชนะเพื่อนำกลับมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีทดสอบ In-house method TE-CH-328 based on QuEChERS Method EN 15662:2018 by GC/FPD Technique วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อหาปริมาณและชนิดของการตกค้างของสารคลอรีไพริฟอสในตัวอย่างดิน

ตาราง 21 ตำแหน่งพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน

จุดที่	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ระดับความเสี่ยงปนเปื้อนสารคลอรีไพริฟอสในดิน	
		กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น	กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุ่มเครือ
1	ส้มโอ	เสี่ยงมาก	เสี่ยงปานกลาง
2	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมาก	เสี่ยงปานกลาง
3	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก
4	ส้ม	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก
5	นาข้าว	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก
6	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก
7	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงปานกลาง	เสี่ยงปานกลาง
8	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก
9	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมากที่สุด
10	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมากที่สุด
11	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมากที่สุด
12	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมากที่สุด



ภาพประกอบ 46 พื้นที่ตัวอย่างและตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน

ผลการวิเคราะห์สารคลอโรไพริฟอสในดิน

ตัวอย่างทั้งหมดถูกส่งไปยัง บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขา กรุงเทพฯ เพื่อวิเคราะห์สารคลอโรไพริฟอสที่ตกค้างในดินจำนวน 12 ตัวอย่าง ไม่พบการปนเปื้อนของสารคลอโรไพริฟอสในดินของพื้นที่ตัวอย่างในกลุ่มของพื้นที่เพาะปลูกไม้ผล ได้แก่ ส้มโอ ส้ม มะปราง-มะยงชิด และไม่พบการปนเปื้อนในพื้นที่นาข้าว แสดงในตาราง 22

ตาราง 22 ผลการตรวจวิเคราะห์สารคลอโรไพริฟอสในดินตัวอย่าง

จุด ที่	การใช้ประโยชน์ ที่ดิน	ระดับความเสี่ยงปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสในดิน		ค่าการปนเปื้อน สารคลอโรไพริฟอส ในดิน (ppm)
		การปนเปื้อนการวิเคราะห์ ตามลำดับชั้น	กระบวนการวิเคราะห์ ตามลำดับชั้นแบบ กลุ่มเครือ	
1	ส้มโอ	เสี่ยงมาก	เสี่ยงปานกลาง	ไม่พบ
2	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมาก	เสี่ยงปานกลาง	ไม่พบ
3	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก	ไม่พบ
4	ส้ม	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก	ไม่พบ
5	นาข้าว	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก	ไม่พบ
6	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก	ไม่พบ
7	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงปานกลาง	เสี่ยงปานกลาง	ไม่พบ
8	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมาก	ไม่พบ
9	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมากที่สุด	ไม่พบ
10	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมากที่สุด	ไม่พบ
11	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมากที่สุด	ไม่พบ
12	มะปราง มะยงชิด	เสี่ยงมากที่สุด	เสี่ยงมากที่สุด	ไม่พบ

การวิเคราะห์สารคลอโรไพริฟอสที่ตกค้างในดินจำนวน 12 ตัวอย่าง ในพื้นที่การเกษตรในบริเวณอำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก พบว่าไม่พบการตกค้างในทุกตัวอย่างดิน จากข้อมูลการสัมภาษณ์พบว่า อำเภอเมืองนครนายกไม่มีร้านขายเคมีภัณฑ์ใดหลงเหลือสารคลอโรไพริฟอสอยู่ และไม่ได้จำหน่ายมานานกว่า 1 ปี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิจัยเรื่องการวิเคราะห์ปัจจัยของดินบางประการต่อการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอสด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณพื้นสวนมะยงชิด อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายกเป็น การศึกษาปัจจัยทางกายภาพของดินปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมตัวของสารคลอโรไพริฟอสในดิน ได้แก่ ปัจจัยเนื้อดิน ปัจจัยปฏิกิริยาดิน ปัจจัยความลึกของดิน ปัจจัยอัตราการซึมผ่านของน้ำผ่าน ผิวดิน ปัจจัยความลาดชันและปัจจัยดัชนีความชื้นของสภาพภูมิประเทศ โดยพิจารณาตามเกณฑ์ ความเสี่ยงต่อการคงอยู่ของสารคลอโรไพริฟอสในดิน วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนด้วยกระบวนการ วิเคราะห์ตามลำดับขั้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบคลุมเครือ สามารถแบ่งหัวข้อ ในการสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ 8 ท่าน โดยใช้แบบสอบถามเพื่อประเมิน ความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสในดิน ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้อง ของข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามีอัตราส่วนความสอดคล้อง อยู่ในช่วง 0.068 – 0.087 ซึ่งแสดงถึง ความสอดคล้องในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น ปัจจัยที่มี ความสำคัญสูงสุดที่สุด คือ เนื้อดิน โดยมีค่า 0.362 และเมื่อวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับ ขั้นแบบคลุมเครือ แม้ว่าปัจจัยเนื้อดินจะยังคงมีความสำคัญสูงสุด แต่มีค่าความสำคัญคือ 0.194 โดยรวมแล้วปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อการปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสในดินด้วยกระบวนการ วิเคราะห์ตามลำดับขั้น คือ ปัจจัยเนื้อดิน ปัจจัยปฏิกิริยาดิน ปัจจัยอัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน ปัจจัยความลึกของดิน ปัจจัยความลาดชันและปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ โดยมีค่า ความสำคัญ 0.362, 0.240, 0.138, 0.130, 0.081 และ 0.049 ตามลำดับ และ ปัจจัยที่มีความสำคัญ มากที่สุดต่อการปนเปื้อนสารคลอโรไพริฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแบบ คลุมเครือ คือ ปัจจัยเนื้อดิน ปัจจัยปฏิกิริยาดิน ปัจจัยอัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน ปัจจัย ความลึกของดิน ปัจจัยความลาดชันและปัจจัยดัชนีความชื้นของภูมิประเทศ โดยมีค่าความสำคัญ 0.194, 0.181, 0.165, 0.162, 0.155 และ 0.142 ตามลำดับ

การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่ามีพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง ขนาดพื้นที่ 4.018 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมาก มีขนาดพื้นที่ 158.519 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด มีขนาดพื้นที่ 272.527 และการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ มีพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนน้อย มีขนาดพื้นที่ 0.081 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง มีขนาดพื้นที่ 42.734 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมาก มีขนาดพื้นที่ 368.757 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด มีขนาดพื้นที่ 23.492 ตารางกิโลเมตร เมื่อพิจารณาพื้นที่เกษตรกรรมจากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่า พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด มีพื้นที่ 204.204 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 70.80 ของพื้นที่เกษตรกรรมในอำเภอเมืองนครนายก และด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือพื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด มีพื้นที่ 20.215 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.01 ของพื้นที่เกษตรกรรมในอำเภอเมืองนครนายก ซึ่งพื้นที่นาข้าว มีขนาดพื้นที่มากที่สุดในการเสี่ยงปนเปื้อน มะยงชิดที่เป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดนครนายก จากการประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีพื้นที่ปลูกมะยงชิดมีความเสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด 2,099.06 ไร่ ความเสี่ยงปนเปื้อนมาก 1,258.42 ไร่ ความเสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง 23.34 ไร่ และการวิเคราะห์การประมาณพื้นที่ปนเปื้อนสารคลอไรไฟรฟอสในดินด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ มีพื้นที่ปลูกมะยงชิดมีความเสี่ยงปนเปื้อนมากที่สุด 141.32 ไร่ ความเสี่ยงปนเปื้อนมาก 2,911.09 ไร่ ความเสี่ยงปนเปื้อนปานกลาง 327.80 ไร่ และความเสี่ยงปนเปื้อนน้อย 0.61 ไร่

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของสารคลอไรไฟรฟอสในดินของพื้นที่เกษตรกรรมอำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก โดยทำการเก็บตัวอย่างดินแบบสุ่ม จำนวน 12 ตัวอย่าง เพื่อหาปริมาณและชนิดของการตกค้างของสารคลอไรไฟรฟอสในตัวอย่างดิน ไม่พบการปนเปื้อนของสารคลอไรไฟรฟอสในดินของพื้นที่ตัวอย่างในกลุ่มของพื้นที่เพาะปลูกไม้ผล ได้แก่ ส้มโอ ส้มมะปราง-มะยงชิด และไม่พบการปนเปื้อนในพื้นที่นาข้าว

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการประมาณการปนเปื้อนของสารคลอไรไฟรฟอสในดินที่ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) และวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นแบบคลุมเครือ (FAHP) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในผลลัพธ์ที่ได้จากสองวิธีการดังกล่าว ความแตกต่างที่สำคัญคือค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย โดยเฉพาะปัจจัยเนื้อดิน ซึ่งมีค่าน้ำหนัก 0.362 ใน AHP และ 0.194 ใน FAHP การเปรียบเทียบนี้สะท้อนให้เห็นลักษณะเฉพาะของวิธีการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี AHP ใช้วิธีการ

ตัดสินใจแบบเฉียบคม โดยกำหนดค่าน้ำหนักเป็นตัวเลขที่แน่นอนซึ่งอาศัยการตัดสินใจจากผู้เชี่ยวชาญโดยตรง วิธีนี้มีความน่าเชื่อถือสูงในกรณีที่ข้อมูลมีความแน่นอนและชัดเจน ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมความไม่แน่นอนและความคลุมเครือในความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ในขณะที่ FAHP นำทฤษฎีเซตแบบฟัซซีมาใช้ ทำให้สามารถจัดการกับความคลุมเครือ ในการตัดสินใจของมนุษย์ได้ดีกว่า (ธนิตเชษฐังค์ ดวงโสมมา, สุทธิชัย เจริญกิจ และพลกฤษณ์ คำชาย, 2566) ซึ่งค่าน้ำหนักของปัจจัยเนื้อดิน ใน Fuzzy AHP น้อยกว่าใน AHP แสดงให้เห็นว่า FAHP กระจายความสำคัญไปยังปัจจัยอื่น ๆ มากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการพิจารณาช่วงของความเป็นไปได้ของค่าความสำคัญ ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความสมดุลและครอบคลุมความไม่แน่นอนได้ดีกว่า ซึ่งแสดงถึงช่วงของค่าความสำคัญ ทำให้ค่าน้ำหนักมีความยืดหยุ่นและสะท้อนความไม่แน่นอนได้อย่างเหมาะสม

AHP ได้รับการยอมรับว่าน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารคลอร์ไพริฟอส (Mulubrhan, Mokhtar, & Muhammad, 2016) เนื่องจากความเห็นผู้เชี่ยวชาญ แต่ข้อจำกัดคือการตัดสินใจแบบเฉียบคม ซึ่งอาจนำไปสู่ความผิดพลาดของข้อมูลที่ไม่แน่นอน การใช้ FAHP จึงมีความเหมาะสมในสถานการณ์ที่มีความคลุมเครือสูง เช่น การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงปนเปื้อนสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ การพิจารณาค่าน้ำหนักในช่วงที่หลากหลายช่วยให้ผลการวิเคราะห์มีความสมดุลและครอบคลุมมากขึ้น ลดความเสี่ยงของการตัดสินใจผิดพลาดจากข้อมูลที่ไม่แน่นอน

ผลการตรวจไม่พบการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในตัวอย่างดินทั้ง 12 ตัวอย่างสามารถอธิบายได้จากปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของสารคลอร์ไพริฟอส ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม และปัจจัยทางสังคมในพื้นที่ศึกษา อธิบายได้ว่าคลอร์ไพริฟอสเป็นสารเคมีที่มีความคงตัวในดินสูง เนื่องจากถูกดูดซับอย่างรุนแรงโดยอนุภาคดินและมีความสามารถในการเคลื่อนที่ต่ำ ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (Sakshi, Jyoti Kiran, Ritu, & Khyati, 2017) โดยมีรายงานครึ่งชีวิตอยู่ระหว่าง 7 ถึง 120 วัน (Elersek & Filipic, 2011) และตามรายงานของ Maya กล่าวว่าครึ่งชีวิตของคลอร์ไพริฟอสในดินอยู่ระหว่าง 20 ถึง 120 วัน โดยมีการก่อดวงของ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (3,5,6-TCP) เป็นผลิตภัณฑ์การย่อยสลายหลัก (Maya, Upadhyay, Singh, & Dubey, 2012) ซึ่งในทางตรงกันข้าม TCP ที่เสื่อมสลายจะดูดซับอนุภาคดินได้เล็กน้อยและเคลื่อนที่ได้ปานกลางและคงอยู่ในดิน (Lu et al., 2020) การย่อยสลายของคลอร์ไพริฟอสในดินได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายประการ ได้แก่ ชนิดของดิน ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปฏิกิริยาของดิน (Asamba et al., 2022) การย่อยสลายทางเคมีเกิดขึ้นได้ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิส โดยมีอุณหภูมิของดินและความเป็นกรดต่ำช่วยเร่งกระบวนการ

ย่อยสลาย (Sakshi et al., 2017) การที่ตรวจไม่พบการปนเปื้อนของคลอรีไฟรฟอสในตัวอย่างดิน อาจสะท้อนถึงการลดการใช้สารเคมีชนิดนี้ในพื้นที่ ซึ่งอาจเป็นผลจากนโยบายที่เข้มงวดเกี่ยวกับการใช้สารเคมีทางการเกษตร การส่งเสริมการเกษตรแบบยั่งยืน หรือความตระหนักรู้ของเกษตรกร ต่อผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ นอกจากนี้ สูตรส่วนผสม สารประกอบเสริม และอัตรา การใช้งานที่แตกต่างกันยังมีบทบาทในการคงอยู่ของคลอรีไฟรฟอสในดิน

จากการศึกษาของ Vidya แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบคทีเรีย *P. fluorescence*, *B. melitensis*, *B. subtilis* และ *P. aeruginosa* ในการย่อยสลายคลอรีไฟรฟอส โดยมีประสิทธิภาพ 89%, 87%, 85% และ 92% ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 30 วัน ทั้งนี้ การที่ *P. aeruginosa* มีประสิทธิภาพ สูงสุดในกระบวนการย่อยสลาย อาจเป็นผลมาจากความสามารถเฉพาะตัวในการผลิตเอนไซม์ที่ เกี่ยวข้องกับการสลายพันธะเคมีของคลอรีไฟรฟอส การค้นพบนี้สนับสนุนความสำคัญของการใช้ จุลินทรีย์เป็นเครื่องมือในการจัดการปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีในดิน (Vidya Lakshmi, Kumar, & Khanna, 2008) การศึกษาของ Maya ยังเสริมความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรีย ในสกุล *Pseudomonas* มีศักยภาพสูงสุดในการย่อยสลายคลอรีไฟรฟอสและสาร TCP ซึ่งเป็นผลผลิต ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายดังกล่าว นอกจากนี้ ผลการศึกษายังระบุว่าแบคทีเรียในสกุลนี้มี ความสามารถในการย่อยสลาย TCP ได้ดีกว่าคลอรีไฟรฟอส ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่า TCP เป็นสารที่ง่ายต่อการย่อยสลายเมื่อเทียบกับโครงสร้างของคลอรีไฟรฟอส (Maya et al., 2012) เมื่อพิจารณาผลการศึกษาทั้งสองฉบับร่วมกัน สามารถสรุปได้ว่าแบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas* มีศักยภาพที่โดดเด่นสำหรับการบำบัดทางชีวภาพของดินที่ปนเปื้อนคลอรีไฟรฟอสและ TCP ผลการศึกษานี้ยังเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาวิธีการบำบัดดินในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจาก การใช้สารเคมีเกษตร โดยเฉพาะในบริบทที่เน้นการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงต่อ สุขภาพของมนุษย์

ผลการศึกษาที่ระบุว่าปัจจุบันไม่มีการใช้สารคลอรีไฟรฟอสในอำเภอเมืองนครนายก สอดคล้องกับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องบัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2563 ซึ่งกำหนดให้ยกเลิกการใช้และการจำหน่ายสารคลอรีไฟรฟอสในประเทศไทย การศึกษานี้ยังพบว่า ร้านค้าเคมีภัณฑ์ทางการเกษตรในพื้นที่ยืนยันว่าการจำหน่ายสารดังกล่าวได้ยุติลงก่อนปี พ.ศ. 2563 ทั้งนี้ ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงผลกระทบเชิงบวกของการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนต่อการควบคุม การใช้วัตถุอันตรายในภาคเกษตรกรรม

การยุติการใช้สารคลอรีไฟรฟอสในพื้นที่ยังสะท้อนถึงการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายส่งเสริมการเกษตรอินทรีย์ในอำเภอเมืองนครนายก โดยมีการสนับสนุน

จากหน่วยงานราชการ เช่น การจัดตั้งกลุ่มเกษตรกรที่เน้นการทำเกษตรอินทรีย์และการให้ความรู้เกี่ยวกับการเกษตรที่ปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นตัวอย่างที่ดีของการบูรณาการนโยบายระดับประเทศเข้ากับการปฏิบัติในระดับท้องถิ่น

นอกจากนี้ ข้อมูลจากร้านค้าเคมีภัณฑ์ที่แสดงว่าสารคลอร์ไพริฟอสไม่ได้รับความนิยมในกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ยังชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ว่าปัจจัยอื่น เช่น การตระหนักรู้ถึงอันตรายของสารดังกล่าวและการเข้าถึงสารทดแทนที่ปลอดภัยกว่า อาจมีบทบาทสำคัญในการลดการใช้งานสารเคมีชนิดนี้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ยังไม่ได้วิเคราะห์ถึงปัจจัยเชิงลึกที่ส่งผลต่อการตัดสินใจของเกษตรกร เช่น ผลกระทบทางเศรษฐกิจหรือความพร้อมของเกษตรกรในการปรับตัวสู่การเกษตรอินทรีย์

ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยทางด้านกายภาพของดินที่มีผลต่อการคงอยู่ของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเพียงอย่างเดียว ไม่ได้รวมถึงปัจจัยทางด้านชีวภาพ ปัจจัยด้านมนุษย์และสังคมที่มีผลต่อการคงอยู่ของของสารคลอร์ไพริฟอสในพื้นที่
2. การให้ค่าความสำคัญของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญในการศึกษานี้มุ่งเน้นกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ศึกษาข้างต้นเท่านั้น หากมีการศึกษาเพื่อขยายผลในมิติอื่น รวมถึงพิจารณาด้วยอื่นควรมีผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้นร่วมด้วย
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการศึกษานี้ กับวิธีการวิเคราะห์อื่น ๆ เช่น การวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis) หรือการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial analysis) เพื่อยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา และเพื่อพัฒนาวิธีการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารคลอร์ไพริฟอสในดินให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
4. การศึกษาดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาแผนงานด้านการเกษตรที่ยั่งยืนในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการสนับสนุนให้เกษตรกรในแนวทางการเกษตรอินทรีย์และการลดการพึ่งพาสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ควรมีการศึกษาที่ครอบคลุมพื้นที่อื่นเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบลักษณะและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้หรือการเลิกใช้สารคลอร์ไพริฟอส รวมถึงการติดตามผลกระทบในระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในมิติทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

บรรณานุกรม

- Asamba, M. N., Mugendi, E. N., Oshule, P. S., Essuman, S., Chimbevo, L. M., & Atego, N. A. (2022). Molecular characterization of chlorpyrifos degrading bacteria isolated from contaminated dairy farm soils in Nakuru County, Kenya. *Heliyon*, 8(3), e09176.
- Atcharaporn, S., Barry, N., & Chuleemas, B. I. (2012). Ecotoxicology of Chlorpyrifos and Cadmium on Local Thai Zooplankton and Benthic Invertebrate. In *13th Graduate Research Conference Khon Kaen University, GRC2012* (pp. 77-85). Thailand: Graduate School, Khon Kaen University.
- Balamurugan, R., Stalin, V. K., & Duraisami, M. (2010). Assessment of Soil Contamination Using GIS. In *Indian Geotechnical Conference* (Vol. December 16–18). Indian: IGS Mumbai Chapter & IIT Bomba.
- Basha, P. M., & Poojary, A. (2014). Mitochondrial dysfunction in aging rat brain regions upon chlorpyrifos toxicity and cold stress: An interactive study. *Cell Mol Neurobiol*, 34(5), 737-756.
- Bense, V., & Hiscock, K. (2014). *Hydrogeology: Principles and Practice, 2nd Edition*. USA.: Wiley & Sons.
- Bou Kheir, R., Greve, M. H., Abdallah, C., & Dalgaard, T. (2010). Spatial soil zinc content distribution from terrain parameters: A GIS-based decision-tree model in Lebanon. *Environmental Pollution*, 158(2), 520-528.
- Chambers, J. E., & Levi, P. E. (1992). *Organophosphates Chemistry, Fate, and Effects*. Boston: Academic Press.
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.
- Dawson, A., & Knowles, O. (2018). Current Soil Sampling Methods - A Review. In L. D. Currie & C. L. Christensen (Eds.), *Farm environmental planning – Science, policy and practice* (pp. 11). New Zealand: Palmerston North.
- Department of Geography, I. U. (2015). *Introduction to GIS*. Retrieved on November 9, 2022, from http://www.indiana.edu/~gis/courses/g338/images/vector_raster.jpg

- Deveci, H. A., & Karapehlivan, M. (2018). Chlorpyrifos-induced parkinsonian model in mice: Behavior, histopathology and biochemistry. *Pestic Biochem Physiol*, 144, 36-41.
- Dominah, G. A., McMinimy, R. A., Kallon, S., & Kwakye, G. F. (2017). Acute exposure to chlorpyrifos caused NADPH oxidase mediated oxidative stress and neurotoxicity in a striatal cell model of Huntington's disease. *Neurotoxicology*, 60, 54-69.
- Elersek, T., & Filipic, M. (2011). Organophosphorous Pesticides - Mechanisms of Their Toxicity. In S. Margarita (Ed.), *Pesticides* (pp. 12). Rijeka: IntechOpen.
- Elizabeth, M. J., & Shaik, J. M. (2015). Chlorpyrifos: pollution and remediation. *Environmental Chemistry Letters*, 13(3), 269-291.
- EPA. (2021). *EPA Takes Action to Address Risk from Chlorpyrifos and Protect Children's Health*. Retrieved on May 8, 2024, From <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-takes-action-address-risk-chlorpyrifos-and-protect-childrens-health>
- FAO. (2003). *International code of conduct on the distribution and use of pesticides : (Revised version) (Adopted by the Hundred and Twenty-third session of the FAO council in November 2002)*. Italia: Roma.
- Howari, F. M., & Ghrefat, H. (2021). *Geographic information system: spatial data structures, models, and case studies. In Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann Elsevier.
- Institute for Innovative Learning, M. U. (2018). *Ecology*. Retrieved on May 8, 2024, From http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter4/chapter4_soil8.htm
- Kim, H. H., Lim, Y. W., Yang, J. Y., Shin, D. C., Ham, H. S., Choi, B. S., & Lee, J. Y. (2013). Health risk assessment of exposure to chlorpyrifos and dichlorvos in children at childcare facilities. *Sci Total Environ*, 444, 441-450.
- Lu, C., Yang, Z., Liu, J., Liao, Q., Ling, W., Waigi, M. G., & Odinga, E. S. (2020). Chlorpyrifos inhibits nitrogen fixation in rice-vegetated soil containing *Pseudomonas stutzeri* A1501. *Chemosphere*, 256, 127098.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.

- Maya, K., Upadhyay, S. N., Singh, R. S., & Dubey, S. K. (2012). Degradation kinetics of chlorpyrifos and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (TCP) by fungal communities. *Bioresource Technology*, 126, 216-223.
- Mulubhran, F., Mokhtar, A., & Muhammad, M. (2016). Fuzzy Activity Based Life Cycle Costing For Repairable Equipment. In *The 3rd International Conference on Mechanical Engineering Research (ICMER 2015)* (Vol. 74, pp. 7). Perak, Malaysia: Mechanical Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS Bandar Seri Iskandar.
- Mwevura, H., Kylin, H., Vogt, T., & Bouwman, H. (2021). Dynamics of organochlorine and organophosphate pesticide residues in soil, water, and sediment from the Rufiji River Delta, Tanzania. *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101607.
- Nag, R., O'Rourke, S. M., & Cummins, E. (2022). A GIS study to rank Irish agricultural lands with background and anthropogenic concentrations of metal(loid)s in soil. *Chemosphere*, 286, 131928.
- Park, J., Finn, J., & Cooke, R. (2018). *Land pollution*. Retrieved on May 8, 2024, From <http://www.ecifm.rdg.ac.uk/landpollution.htm>
- Racke, K. D., Steele, K. P., Yoder, R. N., Dick, W. A., & Avidov, E. (1996). Factors Affecting the Hydrolytic Degradation of Chlorpyrifos in Soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(6), 1582-1592.
- Rauh, V. A., Perera, F. P., Horton, M. K., Whyatt, R. M., Bansal, R., Hao, X., . . . Peterson, B. S. (2012). Brain anomalies in children exposed prenatally to a common organophosphate pesticide. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 109(20), 7871-7876.
- Rohitrattana, J., Siriwong, W., Tunsaringkarn, T., Panuwet, P., Ryan, P. B., Barr, D. B., . . . Fiedler, N. (2014). Organophosphate pesticide exposure in school-aged children living in rice and aquacultural farming regions of Thailand. *J Agromedicine*, 19(4), 406-416.
- Ross, M. A., & Lembi, C. A. (1985). *Applied Weed Science*. New York: Marcel Dekker.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. USA: McGraw-Hill.

- Sakshi, J., Jyoti Kiran, B., Ritu, S., & Khyati, S. (2017). Bioremediation of Chlorpyrifos Contaminated Soil by Microorganism. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(4), 1624-1630.
- Shit, P. K., Bhunia, G. S., & Maiti, R. (2016). Spatial analysis of soil properties using GIS based geostatistics models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 107.
- Singh, B. K., Walker, A., Morgan, J. A., & Wright, D. J. (2003). Effects of soil pH on the biodegradation of chlorpyrifos and isolation of a chlorpyrifos-degrading bacterium. *Appl Environ Microbiol*, 69(9), 5198-5206.
- Sjödell, I. (2018). *Spatial Assessment of Soil Contamination through GIS Data Management*. (Master's level). KTH Royal Institute of Technology, Sweden.
- Tang, F., Lenzen, M., McBratney, A., & Maggi, F. (2021). Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nature Geoscience*, 14(4), 1-5.
- Ventura, C., Nieto, M. R., Bourguignon, N., Lux-Lantos, V., Rodriguez, H., Cao, G., . . . Núñez, M. (2016). Pesticide chlorpyrifos acts as an endocrine disruptor in adult rats causing changes in mammary gland and hormonal balance. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 156, 1-9.
- Vidya Lakshmi, C., Kumar, M., & Khanna, S. (2008). Biotransformation of chlorpyrifos and bioremediation of contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62(2), 204-209.
- Wang, J., Zhang, C., Liao, X., Teng, Y., Zhai, Y., & Yue, W. (2021). Influence of surface-water irrigation on the distribution of organophosphorus pesticides in soil-water systems, Jiangnan Plain, central China. *Journal of Environmental Management*, 281, 111874.
- Wang, Y., & Björn, L. (2014). Heavy metal pollution in Guangdong Province, China, and the strategies to manage the situation. *Frontiers in Environmental Science*, 2.
- Zimdahl, R. L. (2007). *Fundamentals of Weed science* (3th). San Diego, CA: Elsevier Academic.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2558). *สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: ชุมชนเกษตรกรรการเกษตรแห่งประเทศไทย.

- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2563). *กรมวิทยาศาสตร์จัดระบบเฝ้าระวัง 3 สารในผักและผลไม้สดให้ครอบคลุมทุกพื้นที่*. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <https://www3.dmsc.moph.go.th/post-view/879>
- กิตตินัย อัสวเลิศลักษณ์. (2566). *รู้จัก ตัวห้ำตัวเบียน แมลงที่มีประโยชน์*. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <https://www.baanlaesuan.com/288035/garden-farm/good-insect>
- เกรียงไกร จำเริญมา และคณะ. (2554). *แมลงศัตรูพืชไม้ผล* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- จุฑามาศ สัตยวิวัฒน์. (2562). *ข้อมูลด้านพิษวิทยาของ Chlorpyrifos ในช่วงทศวรรษนี้*. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <https://eht.sc.mahidol.ac.th/article/2239>
- ชนวน รัตนวราหะ. (2542). การวิจัยทางการเกษตรเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม: มิติใหม่ของการต่อสู้กับศัตรูพืช. ใน *การประชุมสัมมนาแนวทางการสร้างมิติในการปฏิรูปนโยบายสารกำจัดศัตรูพืชเพื่อการดำเนินการในอนาคต*. กรุงเทพฯ: ฝ่ายเศรษฐกิจรายงานสาขา สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศ.
- ดนัย ธีวันดา. (2563). *สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกับสุขภาพคนไทย*. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <https://thaipan.org/wp-content/uploads/2020/11/1-danai.pdf>
- ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ. (2542). *คัมภีร์มืออาชีพมะพร้าวหวาน-มะยงชิด*. กรุงเทพฯ: มติชน.
- ทศพล พรหม. (2560). *สารป้องกันกำจัดวัชพืช: หลักการและกลไกการทำลายพืช* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนิตเชษฐังค์ ดวงโสมมา, สุทธิชัย เจริญกิจ และพลกฤษณ์ คำชาย,. (2566). การพัฒนาแบบจำลองโดยใช้เทคนิคฟuzzyเซตสำหรับการประเมินความปลอดภัยในงานก่อสร้าง. ใน *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28*. ภูเก็ต: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ร่วมกับ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธัญวรัตน์ รอบคำ. (2551). *การใช้สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ในการผลิตกะหล่ำปลีและผลกระทบบที่มีต่อดินและเกษตรกร*. (ปริญญาานิพนธ์ วท.ม. การใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน). สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- นวลศรี ทยาพัชร. (2534). *รายงานวิชาการปัญหาสารพิษทางการเกษตรในประเทศไทย Pesticide: Environmental and Health Hazards in Thailand*. กรุงเทพฯ: กองวัตถุมีพิษทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

- นัฐวุฒิ ไผ่ผาด, สมจิตต์ สุพรรณทัศน์ และธีรพัฒน์ สุทธิประภา,. (2557). ผลการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม อำเภอวังน้อย จังหวัดกาฬสินธุ์. *วารสารแก่นเกษตร*, 43(3), 301–310.
- นันทวุฒิ จำปางาม. (2561). การฟื้นฟูปมลพิษทางดินที่ปนเปื้อนกากของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรม. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย*, 12(2), 97-111.
- ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. (2547). *การปลูกและการขยายพันธุ์มะปรางหวาน-มะยงชิด ผลไม้เศรษฐกิจเงินล้านที่ตลาดต้องการ*. กรุงเทพฯ: เพชรกะรัต จำกัด.
- ปรัชญา อารีกุล. (2555). *คู่มือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เทคนิคการสำรวจระยะไกล และการสำรวจด้วย GPS เพื่อใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการด้าน smart farm ตามนโยบาย Thailand 4.0* สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก http://www.thai-explore.net/file_upload/submitter/file_doc/e60860e29fca2c54ec77a29d05e7bdb3.pdf
- ผกาสินี คล้ายมาลา. (2558). *การศึกษาความรุนแรงของผลกระทบและการเฝ้าระวังสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษร้ายแรงหรือมีความคงทนในสภาพแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- พยุ่ง มีสัจ. (2552). *เอกสารประกอบการสอน โครงข่ายประสาทเทียมและระบบฟัซซี่*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2555). *Chlorpyrifos/คลอร์ไพริฟอส*. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2169/chlorpyrifos-คลอร์ไพริฟอส>
- ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2559). *สารกำจัดศัตรูพืช*. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก http://www.pharmaco.vet.ku.ac.th/pdf_file/Pesticide_20161020.pdf
- มนตรี แสนสุข. (2553). *มะปราง-มะยง*. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <http://www.kasetloongkim.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=75&page=4>
- มลิวรรณ บุญเสมอ. (2547). *พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เมทินี จงไพบูลย์. (2558). *การจัดลำดับความสำคัญของผลการดำเนินการ กิจกรรม และทฤษฎีบริหารจัดการองค์กรที่มีผลต่อการบริหารจัดการทรัพยากรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม*. (ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม การพัฒนางานอุตสาหกรรม). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรรณศักดิ์ สุขสง, วี จันทรัตน์, สรพงศ์ เบญจศรี, และวิชุดา กล้าเวช. (2556). ปริมาณโลหะหนักสะสมในดินที่ทำการเกษตรเคมีในอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง. ใน การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10 (น. 248-255). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิฑูรย์ ตันศิริคงคล. (2542). AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2545). ภาวะมลพิษของดินจากสารเคมี (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภามาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2559). มลพิษทางดิน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย. (ม.ป.ป.). ข้อมูลสารเคมี. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <https://www.chemtrack.org/chem-detail.asp?ID=07729&CAS=&Name=>

สรวิทย์ กลิ่นดาว. (2542). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์: หลักการเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สาคร มีสุข. (2556). ผลกระทบจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทย 2556. กรุงเทพฯ: สำนักงานวุฒิสภา.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร. (2548). ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก https://www.acfs.go.th/standard/download/food_safety_thai.pdf

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). สถิติการส่งออก. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <https://impexpth.oae.go.th/export>

สิรินาฏ พรศิริประธาน. (2554). การส่งออกผักและผลไม้สดไทยไปยังสหภาพยุโรป. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก <http://thaifranchisedownload.com/dl/group12720130102143938.pdf>

สิริพร กลมธรรม. (2559). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เบื้องต้น. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก https://www.dit.go.th/FILE/CONTENT_FILE/255909151616187298348.pdf

สุเทพ สหายา. (2561). ยากำจัดศัตรูพืช. เคนการเกษตร, 42(5), 171-174.

สุธิลา ตุลยเสถียร และคณะ. (2544). มลพิษทางสิ่งแวดล้อม (ปัญหาสังคมไทย). กรุงเทพฯ: อมรรการพิมพ์.

- สุบินท์ นิมรัตน์. (2542). จุลชีววิทยาและการจัดการมลภาวะทางน้ำและดิน. กรุงเทพฯ: นิติธรรม.
- สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์. (2548). พืชเขต-ตอนที่1 นิยามและฟังก์ชันความเป็นสมาชิก. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 1(1), 57-64.
- สุเพชร จิรัชจรกุล. (2555). เรียนรู้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยโปรแกรม Arcgis 10.1 for desktop. ปทุมธานี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- โสมาตรณ์ จันทรัตน์ และคณะ. (2562). ภูมิทัศน์ภาคเกษตรไทย จะพลิกโฉมอย่างไรสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก https://www.bot.or.th/Thai/ResearchAndPublications/articles/Pages/Article_26Sep2019.aspx
- อภัย ราชภูริจิตร์. (2561). คลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos). สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567, จาก https://haamor.com/คลอร์ไพริฟอส#google_vignette
- อภิชาติ ศรีสอาด และจันทรา อู่สุวรรณ. (2558). มะยงชิด-มะปรางหวาน เงินล้าน. กรุงเทพฯ: นาคา อินเทอร์เน็ตเดีย.
- อรรณณ ชัตรศรีรุ่ง. (2551). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.





กรุณาให้คะแนนความสำคัญเชิงเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยฝั่งซ้ายเทียบกับปัจจัยฝั่งขวาในการนำปัจจัยมาพิจารณาประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการสะสมตัวของสารคลอไรไฟรฟอสในดิน โดยให้ท่านทำเครื่องหมาย × ลงในช่องตัวเลขที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม

ปัจจัยฝั่งซ้าย	ปัจจัยมาพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยฝั่งซ้ายเทียบกับปัจจัยฝั่งขวาในการนำปัจจัยมาพิจารณาประเมินพื้นที่อ่อนไหวของสารคลอไรไพรีฟอสในดิน								ปัจจัยฝั่งขวา
	๒๕๕๕-๒๕๖๕ ปี	๒๕๖๕-๒๕๗๕ ปี	๒๕๗๕-๒๕๘๕ ปี	๒๕๘๕-๒๕๙๕ ปี	๒๕๙๕-๒๖๐๕ ปี	๒๖๐๕-๒๖๑๕ ปี	๒๖๑๕-๒๖๒๕ ปี		
ชนิดของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน
ชนิดของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ค่าความเป็นกรดต่างของดิน
ชนิดของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ความลึกของดิน
ชนิดของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ความลาดชัน
ชนิดของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ดัชนีความชื้นสภาพภูมิประเทศ
อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ค่าความเป็นกรดต่างของดิน
อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ความลึกของดิน
อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ความลาดชัน
อัตราการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ดัชนีความชื้นสภาพภูมิประเทศ
ค่าความเป็นกรดต่างของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ความลึกของดิน
ค่าความเป็นกรดต่างของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ความลาดชัน
ค่าความเป็นกรดต่างของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ดัชนีความชื้นสภาพภูมิประเทศ
ความลึกของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ความลาดชัน
ความลึกของดิน	9	7	5	3	1	3	5	7	ดัชนีความชื้นสภาพภูมิประเทศ
ความลาดชัน	9	7	5	3	1	3	5	7	ดัชนีความชื้นสภาพภูมิประเทศ



ภาคผนวก ข
เอกสารขอเชิญผู้เชี่ยวชาญ



ที่ อว 8718/420

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

10 กุมภาพันธ์ 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน เกษตรจังหวัดนครนายก

เนื่องด้วย นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอไรด์ไฟรฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยมชิต อำเมือง จังหวัดนครนายก” โดยมีอาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกลลวิลาศ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบสอบถาม ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 094 759 8143



ที่ อว 8718/420

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

10 กุมภาพันธ์ 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

เนื่องด้วย นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอไรไฟรฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยมชิต อำเมือง จังหวัดนครนายก” โดยมีอาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาส เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถาม ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 094 759 8143



ที่ อว 8718/420

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

10 กุมภาพันธ์ 2566

เรื่อง ขออนุมัติเคราะห้เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้รักษาการผู้เชี่ยวชาญด้านวัฒนธรรม กรมวิชาการเกษตร

เนื่องด้วย นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอรีนฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก” โดยมีอาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถาม ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขออนุมัติเคราะห้เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

ศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 094 759 8143



ที่ อว 8718/420

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

10 กุมภาพันธ์ 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน นางสาวสายใจ บึงไกล

เนื่องด้วย นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภุธร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอไรไฟรฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยมขิด อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก” โดยมีอาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกลมวิลาส เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถาม ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภุธร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

ดร.เอกชัย อ.

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 094 759 8143



ที่ อว 8718/420

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

10 กุมภาพันธ์ 2566

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน นางสาวธรรม วิรุฬามาลัย

เนื่องด้วย นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอรีนฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก” โดยมีอาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถาม ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอบความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 094 759 8143



ที่ อว 8718/420

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

10 กุมภาพันธ์ 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยสิ่งแวดล้อมดิน กรมพัฒนาที่ดิน

เนื่องด้วย นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอไรไฟรฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก” โดยมีอาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกลิวิลาศ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบสอบถาม ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 094 759 8143



ที่ อว 8718/420

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

10 กุมภาพันธ์ 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์

เนื่องด้วย นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอไรไฟรฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยมชิต อำเมือง จังหวัดนครนายก” โดยมีอาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบถวบบสอบถวบบ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 094 759 8143



ที่ อว 8718/420

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

10 กุมภาพันธ์ 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อาจารย์ ดร.ภาคภูมิ ตันเตชสาธิต

เนื่องด้วย นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอไรไฟรฟอสในดินบริเวณพื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอ จังหวัดนครนายก” โดยมีอาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิ้มโกลลวิลาศ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบทวนทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 094 759 8143



ภาคผนวก ค
เอกสารรับของจริยธรรมในมนุษย์



AF19-03-03.1
August, 2023

หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หนังสือฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ชื่อโครงการวิจัย : การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประมาณการปนเปื้อนของคลอรีนฟอสในดินบริเวณ
พื้นที่สวนมะยงชิด อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร

หน่วยงานต้นสังกัด : คณะสังคมศาสตร์

หมายเลขรับรองโครงการวิจัย : SWUEC-662084

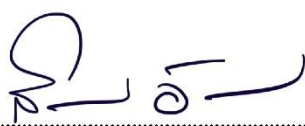
รายการเอกสารที่รับรอง :

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. แบบเสนอเพื่อขอรับการพิจารณา | ฉบับที่ 2 ลงวันที่ 28 กันยายน 2566 |
| 2. โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ | ฉบับที่ 1 ลงวันที่ 23 สิงหาคม 2566 |
| 3. เอกสารข้อมูลและขอความยินยอมสำหรับอาสาสมัคร | ฉบับที่ 2 ลงวันที่ 24 กันยายน 2566 |
| 4. แบบบันทึกข้อมูล | ฉบับที่ 1 ลงวันที่ 23 สิงหาคม 2566 |
| 5. ประวัติผู้วิจัย | |

ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โดยยึดหลักเกณฑ์ตาม Declaration of Helsinki, Belmont Report, International Conference on Harmonization in
Good Clinical Practice (ICH-GCP), International Guidelines for Human Research ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและ
ข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามโครงการวิจัยนี้ได้

วันที่รับรอง : 4 ตุลาคม 2566

วันที่หมดอายุ : 3 ตุลาคม 2567

(ลงชื่อ).....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงษ์ วัฒนานนท์สกุล)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

ชุดสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ (ชุดที่ 2)

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

หน่วยจริยธรรมและมาตรฐานการวิจัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อาคารนวัตกรรม ศ.ดร.สาโรช บัวศรี ชั้น 17

โทร. (02) 6495000 ต่อ 17503, 17506 โทรสาร (02) 2042590

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นายกิตติพิพัชญ์ วงษ์ภูธร

