

ผลงานวิชาการเรื่อง
การจัดทำฐานข้อมูลความเค็มและโซดิก
เพื่อการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

นฤมล จันทร์จิราวุฒิกุล
นางสาววรั้มพร วงษ์วรภาส
นายพรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย
นางสาวมณีรัตน์ แจ้งประจักษ์

กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน

กรมพัฒนาที่ดิน

ปีงบประมาณ 2568

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
บทที่ 1 บทนำ	3
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	5
บทที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	24
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการ	47
บทที่ 5 ผลการวิจัยและวิจารณ์	54
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	99
เอกสารอ้างอิง	104
ภาคผนวก	111

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามสมบัติทางเคมี	6
ตารางที่ 2	ปริมาณเกลือและระดับความเค็มของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	8
ตารางที่ 3	ระดับโซดิกในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	8
ตารางที่ 4	ชนิดพืชที่เหมาะสมในการปลูกในดินที่มีระดับความเค็มต่าง ๆ	10
ตารางที่ 5	ชนิดพืชที่เหมาะสมในการปลูกในดินที่มีระดับโซดิกต่าง ๆ	14
ตารางที่ 6	การแปลความหมายของค่า NSE	20
ตารางที่ 7	ช่วงค่าของ R^2 และการตีความสมรรถนะของแบบจำลองในการทำแผนที่ดินแบบดิจิทัล	21
ตารางที่ 8	ข้อมูลภูมิอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คาบ 30 ปี (พ.ศ. 2538-2566)	28
ตารางที่ 9	หน่วยแผนที่ธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	31
ตารางที่ 10	ประเภทการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	39
ตารางที่ 11	เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและดินที่มีคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	41
ตารางที่ 12	การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2560 รายจังหวัด	45
ตารางที่ 13	ตัวแปรร่วมจากข้อมูลสภาพแวดล้อมและข้อมูลการสำรวจระยะไกล	50
ตารางที่ 14	ค่าสถิติเชิงพรรณนาค่าอีซีอีและอีเอสพี	54
ตารางที่ 15	ค่าสถิติประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าอีซีอี	59
ตารางที่ 16	ค่าสถิติประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าอีเอสพี	62
ตารางที่ 17	เนื้อที่ดินที่ความเค็มในระดับต่าง ๆ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	65
ตารางที่ 18	เนื้อที่ดินที่มีโซดิกระดับต่าง ๆ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	68
ตารางที่ 19	เนื้อที่ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	74

สารบัญญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือของประเทศไทย	16
ภาพที่ 2	แผนที่ตั้งและอาณาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	26
ภาพที่ 3	แผนที่แสดงสภาพภูมิประเทศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	27
ภาพที่ 4	กราฟแสดงสมดุลของน้ำเพื่อการเกษตร	29
ภาพที่ 5	แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	40
ภาพที่ 6	สภาพพื้นที่และลักษณะของคราบเกลือบนผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	43
ภาพที่ 7	แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2560	46
ภาพที่ 8	ขั้นตอนการศึกษา	48
ภาพที่ 9	กราฟแสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าไอซีอิกับตัวแปรรวม	56
ภาพที่ 10	กราฟแสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าไอเอสพิกับตัวแปรรวม	58
ภาพที่ 11	แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร	66
ภาพที่ 12	แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร	67
ภาพที่ 13	แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร	69
ภาพที่ 14	แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร	70
ภาพที่ 15	แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร	72
ภาพที่ 16	แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร	73
ภาพที่ 17	แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร	75
ภาพที่ 18	แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร	76
ภาพที่ 19	แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร	77

บทคัดย่อ

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินและการผลิตทางการเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับความเค็มและความเป็นโซดิกของดิน วิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่เกษตรกรรมภายใต้ข้อจำกัดดังกล่าว และจัดทำข้อเสนอแนะเชิงวิชาการเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน การศึกษานี้ใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่าอีซีอี (EC_e) และอีเอสพี (ESP) จากห้องปฏิบัติการ ร่วมกับข้อมูลการสำรวจระยะไกลและเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อคาดการณ์ระดับความเค็มและความเป็นโซดิกของดิน จากนั้นนำผลการคาดการณ์มาจัดทำเป็นแผนที่ดินดิจิทัลเพื่อประเมินความรุนแรงและรูปแบบการแจกกระจายของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่เกษตรกรรม

ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายค่าความเค็มและความเป็นโซดิกของดินเชิงพื้นที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลจริง โดยการทำนายสมบัติของดินในชั้นดินบนให้ความแม่นยำสูงที่สุด ทั้งในด้านระดับความเค็มของดินจากค่าอีซีอีและระดับความเป็นโซดิกจากค่าอีเอสพี ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองชี้ให้เห็นว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่มีความเค็มอยู่ในระดับปานกลาง และมีความเป็นโซดิกในระดับปานกลางถึงสูง โดยสามารถจำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้ 2 ประเภท ได้แก่ ดินโซดิกและดินเค็มโซดิก ทั้งนี้ แบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของความเค็มและความเป็นโซดิกของดินได้ในระดับที่น่าพอใจ

ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการจำแนกสภาพปัญหาดิน การวางแผนการใช้ที่ดิน การเลือกชนิดพืชให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ตลอดจนการกำหนดมาตรการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือเชิงพื้นที่ เพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรดินอย่างยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ: ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ความเค็มของดิน โซดิกในดิน แบบจำลองเชิงพื้นที่ แผนที่ดินดิจิทัล

Abstract

Salt-affected soils are a major constraint to land utilization and agricultural production in the northeastern region of Thailand. This study aimed to assess the levels of soil salinity and sodicity, evaluate the suitability of agricultural land under these constraints, and provide academic recommendations to support sustainable soil resource management. The study utilized laboratory analysis of electrical conductivity of saturated soil extract (EC_e) and exchangeable sodium percentage (ESP), combined with remote sensing data and geographic information system (GIS) techniques to develop spatial prediction models for soil salinity and sodicity. The predicted results were then used to generate digital soil maps for assessing the severity and spatial distribution of salt-affected soils in agricultural areas.

The results indicated that the spatial models were able to predict soil salinity and sodicity in good agreement with observed data. The prediction accuracy was highest for the topsoil layer, particularly for soil salinity based on EC_e and soil sodicity based on ESP. Model outputs revealed that most soils in the study area exhibited moderate salinity and moderate to high sodicity levels. Two major types of salt-affected soils were identified, namely sodic soils and saline-sodic soils. The spatial distribution of soil salinity and sodicity varied across the region, reflecting differences in environmental and soil-forming factors.

The results of this study provide essential spatial information for identifying soil constraints, supporting land-use planning, selecting suitable crop types, and developing site-specific management strategies for salt-affected soils. These findings contribute to improving soil resource management and promoting sustainable agricultural development in the long term.

Keywords: salt-affected soil, salinity, sodicity, spatial modeling, digital soil map

บทที่ 1

บทนำ

หลักการและเหตุผล

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization: FAO) ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์และการบริหารจัดการทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน โดยร่วมกับประเทศสมาชิก รวมถึงประเทศไทย จัดกิจกรรมวันดินโลกในวันที่ 5 ธันวาคมของทุกปี เพื่อสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของทรัพยากรดินและการรักษาความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ อันเป็นพื้นฐานสำคัญต่อความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษยชาติ ในปี พ.ศ. 2564 วันดินโลกจัดขึ้นภายใต้หัวข้อ “Halt Soil Salinization, Boost Soil Productivity” ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดคำขวัญภาษาไทยว่า “พิชิตดินเค็ม เต็มเต็มผลผลิต สร้างชีวิตเกษตรกร” โดยมีการเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (salt-affected soils) และแนวทางการจัดการดินอย่างเหมาะสม เพื่อส่งเสริมการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกและเสริมสร้างความมั่นคงด้านอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านการขจัดความหิวโหย (Zero Hunger) โดยเน้นการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในการป้องกันและแก้ไขปัญหาดินเค็ม (FAO, 2021)

นอกจากนี้ FAO ยังสนับสนุนให้ประเทศต่าง ๆ ปรับปรุงและพัฒนาแผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ รวมทั้งปรับปรุงฐานข้อมูลสถานะความเค็มของดินให้มีความทันสมัยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในประเทศไทย กรมพัฒนาที่ดินให้ความสำคัญกับการพัฒนาระบบฐานข้อมูลทรัพยากรดินและระบบเทคโนโลยีสารสนเทศด้านการพัฒนาที่ดินให้มีความถูกต้อง ทันสมัย และสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว เพื่อสนับสนุนการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน การพัฒนาการเกษตร และการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์โดยเกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การมีฐานข้อมูลดินที่มีคุณภาพจึงถือเป็นพื้นฐานสำคัญในการเพิ่มศักยภาพการผลิตทางการเกษตรและยกระดับมาตรฐานการผลิตสู่ความยั่งยืน

สำหรับประเทศไทย ดินที่มีผลกระทบจากเกลือแจกกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้น ความเค็มและโซดิกของดินจึงถือเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการผลิตทางการเกษตรในภูมิภาคนี้ นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการจัดการน้ำที่ไม่เหมาะสมยังเป็นปัจจัยที่เร่งให้ปัญหาความเค็มของดินทวีความรุนแรงมากขึ้นในหลายพื้นที่ ปัจจุบันมีการจัดทำข้อมูลดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยอาศัยการจำแนกลักษณะของดินตามระบบอนุกรมวิธานดินเป็นหลัก ซึ่งยังไม่ครอบคลุมลักษณะความเค็มและโซดิกของดินทั้งหมด และยังขาดการเชื่อมโยงข้อมูลกับการตอบสนองของพืชอย่างเป็นระบบ ดังนั้น การพัฒนาเกษตรกรรมในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงและเพิ่มเติมฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถประเมินระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกที่มีผลต่อพืช และกำหนดแนวทางการจัดการดินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการประเมินศักยภาพทางการเกษตรในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยบูรณาการข้อมูลดิน ข้อมูลสภาพแวดล้อม และเทคโนโลยีการประเมินเชิงพื้นที่ร่วมกัน ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินและการจัดการการผลิต

ทางการเกษตรในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของเกษตรกรในการเลือกใช้พื้นที่และการจัดการดินเพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจได้อย่างเหมาะสม ลดความเสี่ยงด้านผลผลิต และส่งเสริมความมั่นคงด้านอาหารและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อจัดทำข้อมูลความเค็มและโซดิกของดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2. เพื่อจัดทำคำแนะนำการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามสภาพปัญหา

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ดินและปัจจัยการเกิดดิน

ดิน (soil) หมายถึง วัสดุตามธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ ผสมกับอินทรีย์วัตถุ ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และปัจจัยการเกิดดิน (soil formation factor) ปัจจัยที่ควบคุมการเกิดดิน ประกอบด้วย 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ วัตถุดิบกำเนิด สภาพภูมิอากาศ สิ่งมีชีวิตหรือพืชพรรณ สภาพภูมิประเทศ และเวลา (สำนักงานราชบัณฑิตยสถาน, 2562)

McBratney *et al.* (2003) ได้เสนอสมการใหม่ซึ่งปรับปรุงสมการเดิมรวมกับการทำแผนที่ดินดิจิทัล เพื่อให้อธิบายเป็นเชิงปริมาณ ครอบคลุมมิติของพื้นที่และเวลา

$$S = f(s, c, o, r, p, a, n)$$

เมื่อ S คือ ชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน (soil attributes)

s คือ สมบัติของดิน (soil properties) หมายถึง ลักษณะของดินที่ได้มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ข้อมูลจากการสำรวจหรือจากห้องปฏิบัติการ ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล และข้อมูลจากแผนที่ดินดิจิทัล

c คือ สภาพภูมิอากาศ (climate) หมายถึง สภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของดินหรือทำให้ดินมีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ ปริมาณการกระจายตัวของฝนและอุณหภูมิ

ซึ่งปัจจัยสมบัติของดินและสภาพภูมิอากาศ มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของทั้งหินและแร่ของวัตถุดิบกำเนิดดิน (weathering process) ในด้านกายภาพและเคมี (physical and chemical weathering)

o คือ สิ่งมีชีวิต (organisms) หมายถึง สิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบด้วยพืชและสัตว์แต่จะเน้นที่พืชพรรณต่าง ๆ ที่ขึ้นปกคลุมบนผิวดิน โดยมีอิทธิพลต่อความหนาของชั้นดินบน ปริมาณอินทรีย์วัตถุหรือปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในดิน ปริมาณและการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืช ระดับความชื้น องค์ประกอบทางเคมีของดิน และสมบัติของดินทางด้านอื่น ๆ

r คือ ความต่างระดับของพื้นที่หรือสภาพภูมิประเทศ (relief) หมายถึง ความสูงต่ำหรือระดับที่ไม่เท่ากันของสภาพพื้นที่และความลาดชันของพื้นที่ จะมีความเกี่ยวข้องกับระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อการเกิดลักษณะชั้นในหน้าตัดดิน ความลึก สีดิน ความชื้นสัมพัทธ์ และความรุนแรงของการชะล้าง

p คือ วัตถุดิบกำเนิดดิน (parent material) หมายถึง วัตถุซึ่งเกิดจากการผุพังสลายตัวของหิน แร่ และเศษซากพืชและสัตว์ ซึ่งอาจเป็นวัสดุที่เกิดจากการแปรสภาพอยู่กับที่ ณ บริเวณนั้น หรือเป็นพวกตะกอนที่ถูกเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งอื่นโดยวัสดุนำพา เช่น น้ำ ลม หรือธารน้ำแข็ง แล้วมาทับถมอยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง องค์ประกอบของวัสดุเหล่านี้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อลักษณะและสมบัติของ

ดินที่เกิดขึ้น วัตถุประสงค์กำเนิดดินเป็นปัจจัยควบคุมการเกิดดินที่สำคัญและมองเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนที่สุด และมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของดิน เช่น สี เนื้อดิน โครงสร้าง และสมบัติทางเคมีของดิน

a คือ ระยะเวลาการพัฒนาดิน (age) หมายถึง บทบาทของเวลาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดิน มีทั้งระยะเวลาที่แท้จริงที่ดินเริ่มพัฒนาจากวัตถุประสงค์กำเนิดดินซึ่งเป็นอายุจริงของดินและระยะเวลาสัมพัทธ์ซึ่งหมายถึงระดับการพัฒนาของดิน สำหรับอิทธิพลของเวลาในแง่ของการเกิดดินนั้นหมายถึงช่วงหนึ่งของเวลาที่ต่อเนื่องกันไปโดยไม่มีเหตุการณ์รุนแรงขัดจังหวะการพัฒนาตัวของดิน

n คือ ตำแหน่งของดิน (spatial location) หมายถึง พิกัดทางภูมิศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจงเพื่อช่วยระบุตำแหน่งของดินในพื้นที่ ข้อมูลตำแหน่งมีความสำคัญ เพราะจะช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนของดิน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดินกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2562) อธิบายว่า ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (salt-affected soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือละลายอยู่มาก จนกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ สอดคล้องกับ FAO (2024) ที่กล่าวว่า ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ มีลักษณะเด่นคือมีเกลือที่ละลายน้ำได้หรือโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและเกิดขึ้นทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่แห้งแล้งและชายทะเล ภาวะดินเค็มเกิดจากสาเหตุทางธรรมชาติ (เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น) และการกระทำของมนุษย์ (เช่น การชลประทานที่ไม่ดี การใช้น้ำมากเกินไป)

ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

ดินที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบมากจะมีการนำไฟฟ้าสูงกว่าปกติ จึงสามารถใช้นำไฟฟ้ามากำหนดความรุนแรงของอิทธิพลของเกลือได้ และหากโซเดียมมีปริมาณมากกว่าแคตไอออนอื่น ๆ ในดิน จะแสดงอิทธิพลด้านความเค็มชัดเจน และทำให้ดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมากผิดปกติ (เอิบ, 2550) จึงสามารถนำลักษณะดังกล่าวมาพิจารณาจัดกลุ่มตามสมบัติทางเคมีของดิน โดยใช้ค่าไอซีอีกับร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้หรืออีเอสพี (exchangeable sodium percentage: ESP) หรือค่าไอซีอีกับอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมหรือเอสเออาร์ (sodium adsorption ratio: SAR) จำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ออกเป็น 3 ประเภท (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2562; Richards, 1954; Brady and Weil, 2008) (ตารางที่ 1) ดังนี้

ตารางที่ 1 ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามสมบัติทางเคมี

ประเภทดิน	EC_e ($dS\ m^{-1}$)	ESP	SAR
ดินเค็ม	≥ 4	< 15	< 13
ดินเค็มโซดิก	≥ 4	≥ 15	≥ 13
ดินโซดิก	< 4	≥ 15	≥ 13

ที่มา: Richards (1954)

1) ดินเค็ม เป็นดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ในระดับที่มีผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืช มีค่าอีซีอี ตั้งแต่ 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ขึ้นไป มีค่าไอเอสพีน้อยกว่า 15 และพีเอชของดินมักมีค่า 8.5 หรือน้อยกว่า เกลือที่สะสมในดินเค็มส่วนใหญ่เป็นเกลือคลอไรด์ และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม กระบวนการแลกเปลี่ยนในดินนี้ส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมและแมกนีเซียม คอลลอยด์ในดินจึงไม่เกิดการฟุ้งกระจาย (dispersion) และการจับตัวกันของอนุภาคดิน การแทรกซึม (infiltration) และการเคลื่อนที่ของอากาศ (aeration) ไม่ถูกจำกัด พบคราบเกลือสีขาวบริเวณผิวดินเมื่อเกิดการระเหยของน้ำ อาจเรียกดินนี้ว่าดินเค็มขาว (white alkali หรือ Solonchak)

2) ดินเค็มโซดิก เป็นดินที่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้และปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ในระดับที่มีผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืช มีค่าไอเอสพี ตั้งแต่ 15 ขึ้นไป หรือมีค่าเอสเออาร์ ตั้งแต่ 13 ขึ้นไป มีค่าอีซีอีมากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ขึ้นไป และพีเอชของดินมักมีค่า 8.5 หรือน้อยกว่า เดิมเรียกว่า saline alkali soil เอ็บ (2550) พบว่า โดยทั่วไปดินเค็มโซดิกในประเทศไทยมักมีค่าพีเอชต่ำ บางบริเวณมีสภาพเป็นกรด ดินมีการสะสมเกลือโซเดียมมากทำให้มีโครงสร้างแบบแท่งห้วมน (columnar soil structure) ที่มีลักษณะเป็นแท่ง ดินมักเกิดการฟุ้งกระจายจากการมีโซเดียมในดินสูง เมื่อเกลือถูกชะออกไป ความเค็มในดินจะลดลงแต่โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้จะเพิ่มขึ้น เมื่อเกลือถูกชะต่อเนื่อง ดินเค็มโซดิกจะพัฒนาไปเป็นดินโซดิก

3) ดินโซดิก เป็นดินที่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับที่มีผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืช มีค่าไอเอสพี ตั้งแต่ 15 ขึ้นไป หรือมีค่าเอสเออาร์ ตั้งแต่ 13 ขึ้นไป ค่าอีซีอี น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มักมีค่าพีเอช 8.5 หรือมากกว่า เกลือที่ละลายน้ำได้มีเกลือคาร์บอเนตและเกลือไบคาร์บอเนตของโซเดียม มีชั้นดินบนบาง ถัดไปเป็นชั้นดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบแท่งห้วมน ซึ่งเป็นลักษณะที่แสดงว่าดินมีโซเดียมสูง อินทรีย์วัตถุในดินเกิดการฟุ้งกระจายและละลายออกมา เคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวดินมากับน้ำแคพิลลารี และเมื่อน้ำระเหยไปจึงเกิดคราบสีดำบนผิวดิน อาจเรียกดินนี้ว่าดินเค็มดำ (black alkali หรือ solonetz) มักพบเป็นบริเวณเล็ก ๆ (slick spot) อยู่ท่ามกลางดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ พืชที่เจริญเติบโตบนดินนี้จะได้รับความเค็มจากไอออนของโซเดียม ไฮดรอกไซด์ และไบคาร์บอเนต และได้รับผลกระทบจากสภาพที่การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในดินถูกจำกัด

การประเมินระดับความเค็ม

สภาพนำไฟฟ้าหรืออีซี (electric conductivity: EC) เป็นค่าที่วัดความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำหรือสารสกัดจากดิน ใช้ประเมินเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำหรือสารสกัดจากดิน จึงสามารถวัดปริมาณเกลือทางอ้อมได้ (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2562; Brady and Weil, 2008) US Soil Salinity Laboratory Staff (1954) ใช้การนำไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินที่อิมด้วยน้ำกลั่น ซึ่งวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรืออีซีอี (EC_e) มาประเมินปริมาณเกลือและอิทธิพลของเกลือในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณเกลือและระดับความเค็มของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

EC _e (dS m ⁻¹)	เกลือในดิน (%)	ระดับความเค็มของดิน	อิทธิพลต่อพืช
<2	<0.1	ไม่เค็ม	ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช
2-4	0.1-0.2	เค็มเล็กน้อย	มีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม
4-8	0.2-0.4	เค็มปานกลาง	มีผลต่อพืชหลายชนิด
8-16	0.4-0.8	เค็มมาก	พืชทนเค็มเท่านั้นที่ยังเจริญเติบโตได้ดี
>16	>0.8	เค็มจัด	พืชทนเค็มน้อยชนิดมากที่สุดที่เจริญเติบโตได้ดี

ที่มา: ดัดแปลงจาก US Soil Salinity Laboratory Staff (1954)

การประเมินระดับโซดิกในดิน

ระดับโซดิกในดินพิจารณาโดยใช้เกณฑ์ของ FAO (1988) และ Abrol *et al.* (1988) ซึ่งใช้ค่าอีเอสพีประเมินระดับโซดิกในดิน แบ่งค่าอีเอสพีเพื่อบ่งชี้ระดับความเสี่ยงต่อโครงสร้างดินและผลต่อพืช (ตารางที่ 3) ดังนี้ ความรุนแรงของดินโซดิกเพิ่มขึ้นตามค่าอีเอสพีที่สูงขึ้น ดินที่มีค่าอีเอสพี ต่ำกว่า 15 จัดเป็นดินที่ไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างดินและการเจริญเติบโตของพืช เมื่อค่าอีเอสพีอยู่ในช่วง 15–30 ดินเริ่มมีลักษณะโซดิกเล็กน้อย ส่งผลให้อนุภาคดินเริ่มกระจายตัวและดินมีแนวโน้มแน่นทึบมากขึ้น เมื่อค่าอีเอสพีเพิ่มเป็นช่วง 30–50 ดินจัดอยู่ในระดับโซดิกปานกลาง โดยโครงสร้างดินเริ่มเสื่อมสภาพและมีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชอย่างชัดเจน ค่าอีเอสพีในช่วง 50–70 ดินมีโซดิกรุนแรง ทำให้โครงสร้างดินพังทลาย ดินมีความแน่นทึบสูงและส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชมากขึ้น ขณะที่ดินที่มีค่าอีเอสพีมากกว่า 70 จัดเป็นดินโซดิกรุนแรงมาก ซึ่งโครงสร้างดินถูกทำลายอย่างมากและไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชโดยทั่วไป

ตารางที่ 3 ระดับโซดิกในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ESP	ระดับโซดิกในดิน	อิทธิพลต่อดินและพืช
<15	ดินไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก (none sodic)	ไม่มีผลกับโครงสร้างดินและพืชทั่วไป
15-30	ดินมีโซดิกน้อย (slightly sodic)	ดินเริ่มมีการกระจายตัว และเริ่มแน่นทึบ การงอกของเมล็ดลดลง
30-50	ดินมีโซดิกปานกลาง (moderately sodic)	โครงสร้างดินเริ่มพัง ดินกระจายตัว และแน่นทึบ เมล็ดเริ่มงอกยาก
50-70	ดินมีโซดิกรุนแรง หรือ มีโซดิกมาก (strongly/highly sodic)	โครงสร้างดินพัง ดินกระจายตัว ดินแน่นทึบ เมล็ดงอกยากขึ้น
>70	ดินมีโซดิกรุนแรงมาก (Extreme)	โครงสร้างดินถูกทำลาย ดินแน่นทึบมาก ปลูกพืชไม่ได้

ที่มา: ดัดแปลงจาก Abrol *et al.* (1988)

การจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก) และ กรมพัฒนาที่ดิน (2567) จัดทำแนวทางการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ โดยแนะนำว่าการจัดการดิน จำเป็นต้องพิจารณาถึงสาเหตุ ลักษณะ และระดับความรุนแรงของปัญหาในแต่ละพื้นที่ ก่อนกำหนดแนวทางการจัดการที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายสำคัญ ได้แก่

- การป้องกันการสะสมเกลือและการขยายตัวของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
- การเพิ่มผลผลิตพืชในพื้นที่ดินที่มีความเค็มระดับน้อยถึงปานกลาง
- การฟื้นฟูพื้นที่ดินที่มีความเค็มระดับเค็มจัดให้สามารถกลับมาใช้ประโยชน์ได้

ซึ่งแนวทางในการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่กรมพัฒนาที่ดินแนะนำ ได้แก่

1) การจัดการความเค็มในดิน

จัดกลุ่มการจัดการความเค็มในดิน โดยพิจารณาสภาพภูมิประเทศและลักษณะพื้นที่ที่สามารถแบ่งแนวทางการจัดการตามลักษณะพื้นที่ ดังนี้

1.1) พื้นที่ดอน (พื้นที่รับน้ำ) เป็นพื้นที่ดินไม่เค็ม ทำหน้าที่รับน้ำฝน เช่น ป่าธรรมชาติ ประเภทป่าเต็งรัง บางพื้นที่ถูกเปลี่ยนมาใช้ปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าไม้ยืนต้นธรรมชาติ ส่งผลให้น้ำฝนส่วนเกินซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน และดันระดับน้ำใต้ดินเค็มในพื้นที่ลุ่มให้สูงขึ้นจนใกล้ผิวดิน

แนวทางการจัดการ

- ปลูกไม้ยืนต้นหรือไม้โตเร็วบนพื้นที่รับน้ำ เช่น ยูคาลิปตัส สะเดา ชี่เหล็ก ซึ่งมีระบบรากลึกและใช้น้ำมาก ช่วยลดระดับน้ำใต้ดินเค็มได้ดีกว่าพืชไร่

- พัฒนาบ่อน้ำตื้น (ลึกไม่เกิน 30 เมตร) เพื่อสูบน้ำจืดมาใช้ในการเพาะปลูก ช่วยลดระดับน้ำใต้ดินเค็มในพื้นที่ลุ่ม และเพิ่มแหล่งน้ำสำหรับการเกษตรในฤดูแล้ง

1.2) พื้นที่เชิงเนิน เป็นพื้นที่ลาดเท ดินไม่เค็ม เหมาะสำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

แนวทางการจัดการ

- ปลูกไม้ยืนต้นโตเร็ว เช่น สะเดา ชี่เหล็ก ยูคาลิปตัส มะขาม

1.3) พื้นที่ดินเค็มระดับน้อยถึงปานกลางที่เป็นพื้นที่ลุ่ม มักพบคราบเกลือเป็นหย่อม ๆ ในฤดูแล้ง โดยเฉพาะบริเวณที่มีน้ำท่วมขังในฤดูฝน พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ทำนา ควรเลือกปลูกพืชที่เหมาะสมกับระดับความเค็มของดินและโซดิกของดิน ในพื้นที่นาข้าวควรเลือกใช้พันธุ์ข้าวทนเค็ม เช่น ขาวดอกมะลิ 105, กข15, กข6, กข73, กข69 และเหนียวสันป่าตอง พร้อมใช้กล้าอายุ 30-35 วัน ปักดำ 6-8 ต้นต่อกอ ระยะ 20×20 เซนติเมตร สำหรับพืชทางเลือกอื่น ๆ มีรายละเอียดตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชนิดพืชที่เหมาะสมในการปลูกในดินที่มีระดับความเค็มต่าง ๆ

EC _e (dS m ⁻¹)	2-4	4-8	8-16	> 16
ระดับความเค็ม	เค็มน้อย	เค็มปานกลาง	เค็มมาก	เค็มจัด
ข้าว	ข้าวพันธุ์ทั่วไป	ข้าวพันธุ์ทนเค็ม		
พืชไร่และหญ้า	ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วแดง ถั่วแขก ถั่วปากอ้า งา	ถั่วเหลือง ป่าน โสนพื้นเมือง ทานตะวัน ปอแก้ว ข้าวโพด หม่อน ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง ถั่วพุ่ม ถั่วพริ้ว	โสนอินเดีย โสนคางคก ข้าวทนเค็ม คำฝอย โสนอัฟริกัน มันเทศ หญ้าขน หญ้ากีนี	หญ้านวลน้อย ฝ้าย หญ้าแพรก หญ้าไฮบริดเนเปียร์ หญ้าชันอากาศ หญ้าแห้วหมู ป่านศรนารายณ์
พืชสวน	ถั่วฝักยาว ผักกาด ขึ้นฉ่าย พริกไทย แตงร้าน แตงไทย กล้วย	บวบ พริกยักษ์ กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี มันฝรั่ง น้ำเต้า กระเทียม หอมใหญ่ หอมแดง ข้าวโพดหวาน ผักกาดหอม ผักชี แตงโม องุ่น สับปะรด	ผักโขม ผักกาดหัว มะเขือเทศ ถั่วพุ่ม แคนตาลูป	หน่อไม้ฝรั่ง คะน้า กะเพรา ผักบุงจิ้น ชะอม
ไม้ผลและไม้ยืนต้น	ลิ้นจี่ มะนาว สม มะม่วง อะโวคาโด	ปาล์มน้ำมัน ชมพู มะกอก แคน มะเดื่อ ทับทิม	กระถินณรงค์ ซีเหล็ก ฝรั่ง มะยม ยูคาลิปตัส มะม่วงหิมพานต์	ละมุด พุทรา มะขาม มะพร้าว อินทผลัม สุน สะเดา มะขามเทศ

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)

แนวทางการเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงดิน

- (1) การปรับระดับพื้นที่นาแบบที่ 1 ปรับหน้าดินให้สม่ำเสมอ ยกกระตักคันนาให้สูงประมาณ 0.5 เมตร เพื่อให้การขังน้ำฝนช่วยชะล้างเกลือลงสู่ชั้นล่าง และสามารถปลูกไม้ยืนต้นบนคันนาได้
- (2) การปรับระดับพื้นที่นาแบบที่ 2 ปรับหน้าดินให้เรียบสม่ำเสมอ พร้อมขุดคูรับน้ำเค็มจากการชะล้าง และควบคุมระดับน้ำใต้ดินไม่ให้เกลือเคลื่อนขึ้นสู่ผิวดิน
- (3) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด (โสนอัฟริกัน) และวัสดุคลุมดิน เช่น แกลบ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ รักษาความชื้น และลดการสะสมเกลือบนผิวดิน
- (4) การใส่ปุ๋ยอย่างเหมาะสม ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 3 ระยะ และเสริมด้วยน้ำหมักชีวภาพเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโต
- (5) ให้น้ำระบบน้ำหยด ควบคุมความชื้นและความเค็ม การจัดการหลังเก็บเกี่ยว ไม่ควรปล่อยหน้าดินว่างเปล่า ควรคลุมดินด้วยฟางข้าวหรือตอซัง เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและการสะสมเกลือ

1.4) พื้นที่ดินเค็มจัด เป็นพื้นที่ที่มีคราบเกลือจำนวนมาก ไม่เหมาะต่อการปลูกพืชทั่วไป
แนวทางการฟื้นฟู

(1) การปลูกพืชทนเค็มและหญ้าชอบเกลือ

- หญ้าดิกซี่ ใช้คลุมดิน ลดการแพร่กระจายของดินเค็ม และเป็นอาหารสัตว์
- กระถินออสเตรเลีย ช่วยฟื้นฟูระบบนิเวศ เพิ่มอินทรีย์วัตถุ และใช้เป็นฟืนได้

(2) วิธีการทางวิศวกรรม

- การระบายน้ำผิวดิน
- การขุดคูหรือร่องระบายน้ำ
- การระบายน้ำใต้ดิน (sub-surface drainage) เพื่อชะล้างเกลือออกจากเขตรากพืช

1.5) การใช้ประโยชน์จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ทนเค็มและจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPM) มีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบจากความเค็ม โดยช่วยลดความเครียดของพืช ส่งเสริมการดูดน้ำและธาตุอาหาร ลดการสะสมโซเดียมในพืช เพิ่มผลผลิตและความอุดมสมบูรณ์ของดิน การใช้แบคทีเรียทนเค็ม ไมคอร์ไรซา และไรโซเบียม สามารถเพิ่มผลผลิตข้าว ข้าวโพด และพืชปุ๋ยสดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) ระบุว่า การปรับปรุงดินที่มีปริมาณโซเดียมสูง มีเป้าหมายสำคัญคือ การลดปริมาณโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ให้อยู่ในระดับปกติ โดยการปรับปรุงดินโซดิกและดินเค็มโซดิกมีหลักการสำคัญ 3 ประการ ได้แก่

- การแทนที่โซเดียมแลกเปลี่ยนได้ด้วยแคลเซียม
- การชะล้างเกลือโซเดียมออกจากพื้นที่
- การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน เพื่อเพิ่มการแทรกซึมและการซาบซึมน้ำ

2) การจัดการโซดิกในดิน

แนวทางการดำเนินการปรับปรุงดินโซดิก แบ่งออกเป็น 4 วิธี ได้แก่

2.1) การปรับสภาพพื้นที่

- ปรับปรุงดินให้มีการแทรกซึมและการซาบซึมน้ำดีขึ้น
- วางแผนปรับระดับพื้นที่ แบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย สร้างคันดินรอบแปลง และขุดคูระบายน้ำเพื่อระบายเกลือออกนอกพื้นที่เพาะปลูก รวมทั้งช่วยลดระดับน้ำใต้ดิน
- จัดหาแหล่งน้ำที่มีขนาดเหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้น้ำในการชะล้างเกลือได้อย่างต่อเนื่องตลอดปี

2.2) การใช้สารปรับปรุงดินทางเคมี

สารปรับปรุงดินทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับดินโซดิก ได้แก่

(1) ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

ยิปซัมเป็นสารปรับปรุงดินที่นิยมใช้ เนื่องจากมีราคาถูก หาได้ง่าย และเป็นแหล่งแคลเซียมที่สามารถแตกตัวเพื่อเข้าแทนที่โซเดียมแลกเปลี่ยนได้ โดยเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแคลเซียมกับโซเดียม ทำให้โซเดียมถูกเปลี่ยนเป็นโซเดียมซัลเฟต ซึ่งเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ง่ายและสามารถชะล้างออกจากดินได้

นอกจากนี้ ยิปซัวยังสามารถทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนตในดิน ทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งตกตะกอนอยู่ในดิน และโซเดียมซัลเฟต ซึ่งถูกชะล้างออกไป ส่งผลให้ปริมาณโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง

ขั้นตอนการใช้ยิปซัม

- หวานยิปซัมในอัตราที่เหมาะสม พรวนกลบและให้น้ำ เพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 1 เดือน
- ให้น้ำชลประทานเพิ่มเติมเพื่อชะล้างโซเดียมซัลเฟตออกจากพื้นที่ แล้วทำการระบายน้ำออก

(2) กำมะถัน (S)

กำมะถันเป็นสารที่มีราคาสูงกว่ายิปซัม แต่มีประสิทธิภาพในการลดโซเดียมในดินสูง โดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีในดิน ดังนี้

- กำมะถันถูกจุลินทรีย์ในดินออกซิไดซ์จนเกิดกรดกำมะถัน
- กรดกำมะถันที่เกิดขึ้นจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน ซึ่งเข้าแทนที่โซเดียมแลกเปลี่ยนได้
- โซเดียมที่ถูกแทนที่ทำปฏิกิริยากับซัลเฟต กลายเป็นโซเดียมซัลเฟตที่ละลายน้ำง่ายและถูกชะล้างออกจากดิน

ขั้นตอนการใช้กำมะถัน

- หวานำกำมะถัน พรวนกลบ และให้น้ำ เพื่อให้จุลินทรีย์ *Thiobacillus thiooxidans* ออกซิไดซ์กำมะถันจนเกิดกรดกำมะถันและทำปฏิกิริยากับดินอย่างสมบูรณ์
- ให้น้ำชลประทานเพิ่มเติมเพื่อชะล้างโซเดียมซัลเฟต แล้วระบายน้ำออกจากพื้นที่

(3) การเสริมด้วยวิธีทางชีวภาพ

ดินโซดิกมักมีปัญหาดินแน่นทึบและการระบายน้ำไม่ดี การปรับปรุงดินด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการใช้สารเคมีจะช่วยให้การลดโซเดียมแลกเปลี่ยนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่

(3.1) ไถพรวนดินอย่างเหมาะสมร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์

(3.2) ใช้ยิปซัมหรือกำมะถันผกควบคู่กับอินทรีย์วัตถุ เร่งการปรับปรุงสมบัติดิน

(3.3) ในช่วงการขังน้ำเพื่อชะล้างเกลือ หากปลูกพืชที่ทนต่อสภาพดินโซดิก

(ตารางที่ 5) จะช่วยให้การฟื้นฟูดินสำเร็จเร็วขึ้น เนื่องจาก

- ระบบรากพืชช่วยเพิ่มการซาบซึมน้ำในชั้นดินล่าง
- คาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของรากช่วยละลายแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้แคลเซียมไอออนเพิ่มขึ้นและลดโซเดียมแลกเปลี่ยนได้
- เรือนยอดพืชช่วยลดการระเหยของน้ำจากผิวดิน ส่งผลให้การสะสมเกลือบนผิวดินลดลง
- อินทรีย์วัตถุจากการไถพรวนและการสลายตัวของเศษพืชช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน เพิ่มความร่วนซุย และช่วยละลายแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มเติม

(4) การป้องกันไม่ให้นดินกลับเป็นดินโซดิกอีก

การป้องกันดินโซดิกควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมที่เพิ่มปริมาณโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยมีแนวทางสำคัญ ได้แก่

- ใช้น้ำชลประทานที่มีคุณภาพเหมาะสม
- หากน้ำชลประทานมีโซเดียมสูงแต่มีแคลเซียมต่ำ ควรเติมยิปซัมเพื่อปรับสมดุลของไอออนในน้ำ
- ปลูกพืชหมุนเวียน และมีพืชบำรุงดินในระบบการปลูก
- ปลูกไม้ยืนต้นบริเวณสองข้างคูคลองระบายน้ำ เพื่อช่วยลดระดับน้ำใต้ดิน โดยเลือกไม้ที่ทนโซเดียมได้ดีและไม่ผลัดใบจนทำให้คุ้ระบายน้ำอุดตัน

ตารางที่ 5 ชนิดพืชที่เหมาะสมในการปลูกในดินที่มีระดับโซเดียมต่าง ๆ

ESP	2-10	10-20	20-40	40-60	>60
พืชไร่และ หญ้า	ถั่ว อะโวคาโด	ถั่ว	โคลเวอร์ หรือ พืชตระกูลถั่ว คลอเวอร์ โอต หญ้าฟิสคว หญ้าตัลลิส	ข้าวสาลี ฝ้าย บาร์เลย์	หญ้าวิทกราสส์ หญ้าโรดส์ หรือ หญ้าฮอว์นกราสส์ หญ้าอัลฟัลฟา
พืชสวน				มะเขือเทศ ปีทูต	
ไม้ผลและ ไม้ยืนต้น	ส้ม ผลไม้ที่ผลัดใบ เช่น แอปเปิ้ล พลัม ลูกพีช เนคทารีน เชอร์รี่ ลูกท้อ				

ที่มา: ดัดแปลงจาก Pearson (1960)

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือของประเทศไทย

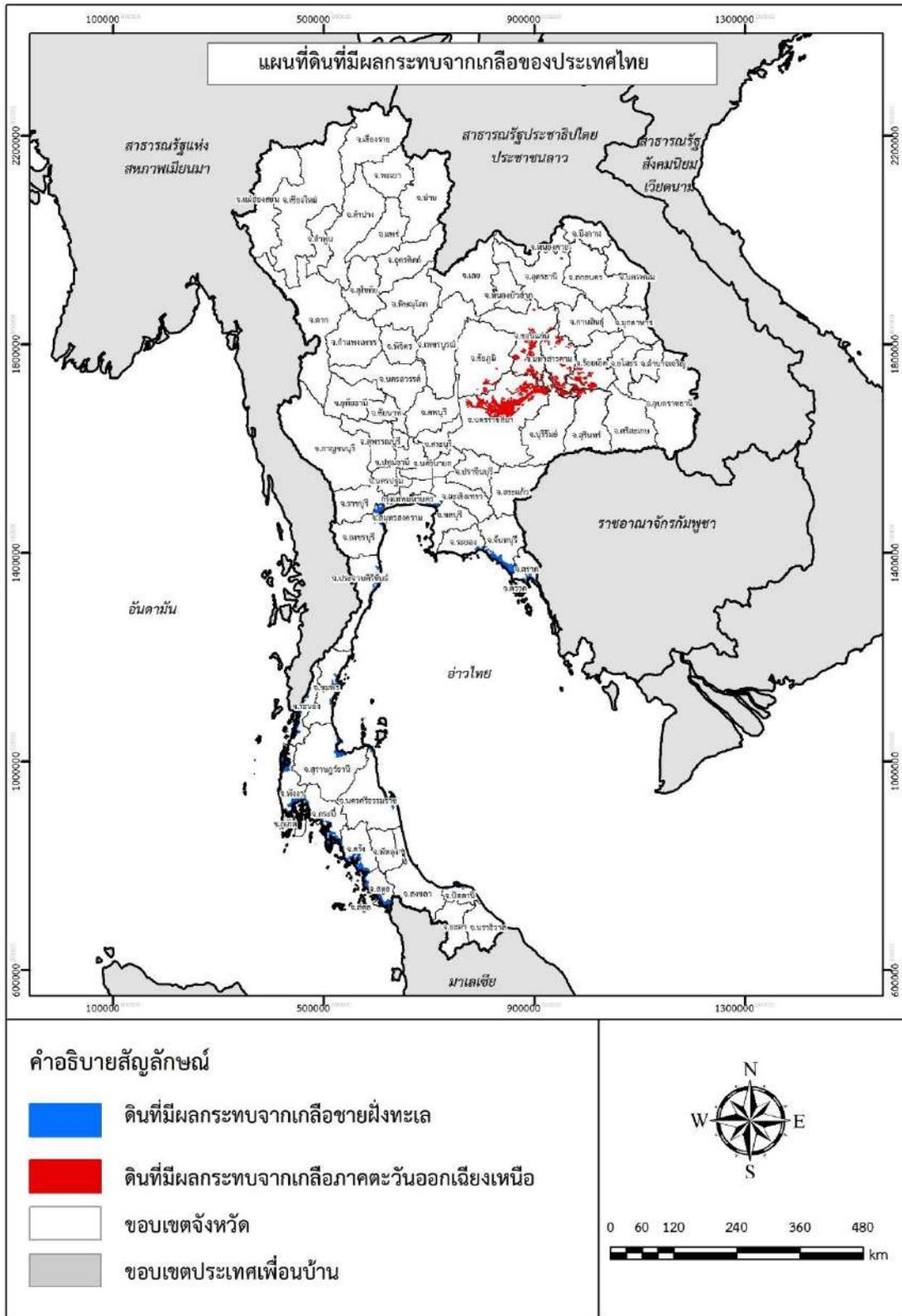
การจัดทำข้อมูลดินที่มีผลกระทบจากเกลือในประเทศไทยโดยกรมพัฒนาที่ดินใช้การจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) เป็นระบบการจำแนกดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา ที่นักวิทยาศาสตร์ทางดินในประเทศไทยนิยมใช้ในปัจจุบัน (เอิบ, 2542) Soil Survey Staff (2022) กำหนดเกณฑ์การจำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือ โดยใช้ลักษณะเด่นที่แสดงอิทธิพลของการสะสมเกลือในดินที่มีผลกระทบจากเกลือในประเทศไทย นอกจากนี้ ดินที่มีผลกระทบจากเกลือบริเวณชายทะเลส่วนใหญ่มีการสะสมสารประกอบกำมะถันด้วย ดินดังกล่าวนี้จึงเป็นทั้งดินที่มีผลกระทบจากเกลือและดินเปรี้ยวจัด (พิสุทธิ, 2530; วุฒิชชาติ, 2542) ซึ่งตามระบบอนุกรมวิธานดินจะจำแนกเป็นดินเปรี้ยวจัด ทำให้ชื่อที่ได้จากการจำแนกสื่อถึงการเป็นดินเปรี้ยวจัดมากกว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือ กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2562) และกรมพัฒนาที่ดิน (2567) พบว่า ดินที่จำแนกเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำนวน 12 ชุดดิน เนื้อที่ 5,039,545 ไร่ แจกกระจายอยู่ใน 33 จังหวัด ในภาคตะวันออก ภาคกลาง ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนี้ ดินที่มีผลกระทบจากเกลือชายทะเล แจกกระจายอยู่ในพื้นที่ชายทะเลทั้งอ่าวไทยและอันดามัน ในภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ รวม 24 จังหวัด เนื้อที่ 2,780,586 ไร่ และดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื้อที่ 2,258,959 ไร่ (ภาพที่ 1)

แผนที่ดินแบบดิจิทัล

การทำแผนที่ดินแบบดิจิทัล (digital soil mapping: DSM) เป็นการพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขหรือเชิงสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสภาพแวดล้อม (environmental variables) กับสมบัติของดิน จากนั้นจึงนำแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับฐานข้อมูลทางภูมิศาสตร์เพื่อสร้างแผนที่เชิงพยากรณ์ (predictive soil mapping) ขึ้นมา เกิดขึ้นได้ด้วยเทคโนโลยีการคำนวณทางภูมิศาสตร์ (Geocomputational technologies) เช่น วิทยาการสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS), การสร้างแบบจำลองภูมิประเทศดิจิทัล (digital terrain modeling), การสำรวจระยะไกล (remote sensing) และตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) งานวิจัยด้านแผนที่เชิงพยากรณ์ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา มีจำนวนมากขึ้นและมีวิธีการที่หลากหลาย ตั้งแต่แนวทางทางสถิติ (รวมถึงภูมิสถิติศาสตร์ - Geostatistics) ไปจนถึงวิธีที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น การวิเคราะห์ด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree analysis) และระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert systems) รากฐานทางทฤษฎีของแผนที่เชิงพยากรณ์ มาจากแบบจำลองปัจจัยการกำเนิดดิน (soil-forming factor model) (Scull *et al.*, 2003)

ประโยชน์ของการทำแผนที่ดินแบบดิจิทัล สามารถพยากรณ์สมบัติของดินในพื้นที่ที่ไม่เคยสำรวจได้อย่างรวดเร็วและมีราคาถูกกว่าวิธีเดิม ข้อมูลใช้ในการจัดการทรัพยากรดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ในการวางแผนพื้นที่ปุระบบนิเวศ ติดตามความเค็มของดิน และประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดินเพื่อตอบโจทยปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ช่วยในการทำการเกษตรแม่นยำ (precision agriculture) การวางแผนการใช้ปุ๋ย การจัดการน้ำ และการเลือกพืชที่เหมาะสมกับดินในระดับแปลง เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำแผนที่ดินแบบดิจิทัลยุคปัจจุบัน เป็นการทำให้แบบจำลอง SCORPAN หรือ $f(s, c, o, r, p, a, n)$ ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดหลักที่ใช้พยากรณ์ดินจากปัจจัย 7 ประการ (McBratney *et al.*, 2003; Lagacherie and McBratney, 2007) และนำเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องหรือแมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning) มาใช้ประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และใช้ระบบคลาวด์ เช่น Google Earth Engine ในการสร้างแผนที่ที่มีความละเอียดสูงและแม่นยำ

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิงเป็นเครื่องมือสำคัญในงานด้านดิน สิ่งแวดล้อม และการเกษตรสมัยใหม่ เพราะสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่ซับซ้อนจากข้อมูลหลายแหล่ง ให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำ พร้อมรองรับการประเมินความไม่แน่นอน และสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเชิงนโยบายและการจัดการพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (McBratney *et al.*, 2003; Breiman, 2001; Hengl *et al.*, 2017)



ภาพที่ 1 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือของประเทศไทย
ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2567)

1) อัลกอริทึม (Algorithm)

ในบริบทของแมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning: ML) อัลกอริทึม (Algorithm) หมายถึง ชุดของกฎ ขั้นตอน หรือวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติ ที่ออกแบบมาเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้รูปแบบ (patterns) หรือความสัมพันธ์จากข้อมูล และนำความรู้นั้นไปใช้ในการพยากรณ์ การจำแนก หรือการตัดสินใจ โดยไม่ต้องกำหนดกฎตายตัวล่วงหน้า กล่าวอีกนัยหนึ่ง อัลกอริทึมคือ “กลไกการเรียนรู้” หรือ “เครื่องมือสร้างแบบจำลอง” ที่แปลงข้อมูลดิบให้กลายเป็นแบบจำลอง (model) ซึ่งสามารถอธิบายหรือทำนายข้อมูลใหม่ได้ (Mitchell, 1997; Bishop, 2006) การเลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลและวัตถุประสงค์ของงาน เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความสำเร็จของการประยุกต์ใช้แมชชีนเลิร์นนิง

ในเชิงอัลกอริทึมของแมชชีนเลิร์นนิง แรนดอมฟอเรสต์ (Random Forest: RF) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายสำหรับการพยากรณ์เชิงพื้นที่ เนื่องจากแรนดอมฟอเรสต์จัดการกับความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี ทนต่อตัวแปรจำนวนมาก และให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่เสถียร (bagging + ensemble of trees) ซึ่งเป็นพื้นฐานทางทฤษฎีที่ Breiman อธิบายในงานต้นฉบับของเขา แสดงให้เห็นถึงเหตุผลว่าทำไมแรนดอมฟอเรสต์จึงถูกนำมาใช้บ่อยในงาน DSM และการประยุกต์ด้านการเกษตรแม่นยำ (Breiman, 2001) แม้ว่าแรนดอมฟอเรสต์จะให้ค่าคาดการณ์จุด (point estimates) ได้ดี แต่ผู้ใช้งานมักต้องการ การประเมินความไม่แน่นอน (uncertainty) ด้วยควอไทล์เรกรेशन (Quantile Regression: QRF) ซึ่ง Meinshausen แสดงวิธีการประมาณ quantiles ของการแจกแจง conditional distribution ของเป้าหมาย ทำให้สามารถสร้าง prediction intervals (เช่น 5%–95%) สำหรับแต่ละตำแหน่งเชิงพื้นที่ได้ การมี interval estimates สำคัญในการตัดสินใจเชิงพื้นที่ เช่น การกำหนดพื้นที่ทำการจัดการหรือลำดับความสำคัญของการสุ่มตัวอย่างเพิ่มเติม (Meinshausen, 2006)

อัลกอริทึม XGBoost (Extreme Gradient Boosting) เป็นอัลกอริทึมแบบอิงโครงสร้างต้นไม้ (tree-based algorithm) ที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ทั้งแบบถดถอย (regression) และการจำแนกประเภท (classification) โดยอาศัยกรอบแนวคิดของการเสริมกำลังแบบไล่ระดับ (gradient boosting) เพื่อสร้างแบบจำลองที่มีความแม่นยำสูงจากการรวมกันของแบบจำลองย่อยที่มีประสิทธิภาพต่ำหลายแบบ (weak learners) ซึ่งประกอบด้วยต้นไม้ตัดสินใจจำนวนมาก จุดเด่นของ XGBoost คือกระบวนการสร้างต้นไม้ตัดสินใจใหม่โดยอิงจากค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากแบบจำลองก่อนหน้า เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการทำนายโดยรวมของแบบจำลองขั้นสุดท้าย ส่งผลให้ค่าทำนายเป็นผลลัพธ์จากการรวมกัน (ensemble) ของต้นไม้ตัดสินใจหลายต้น ทำให้อัลกอริทึมนี้มีประสิทธิภาพสูงและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถยกระดับชุดการทำนายที่มีสมรรถนะต่ำให้เป็นแบบจำลองรวมที่มีความแม่นยำสูงได้ (Chen *et al.*, 2015, Chen and Guestrin, 2016) นอกจากนี้ XGBoost ยังมีความยืดหยุ่นในการปรับแต่งแบบจำลองให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลและวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ผ่านการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ พารามิเตอร์ทั่วไปที่ใช้กำหนดการทำงานโดยรวมของแบบจำลอง พารามิเตอร์ของตัวเสริมกำลังที่ใช้ควบคุมโครงสร้างและลักษณะของต้นไม้ตัดสินใจ และ

พารามิเตอร์ของภารกิจการเรียนรู้ที่ใช้เพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง เช่น การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และการตั้งค่าที่สอดคล้องกับโครงสร้างข้อมูลและตัวแปรผลลัพธ์ที่ต้องการทำนาย

2) การประเมินความสำคัญของตัวแปรรวม

การประเมินความสำคัญของตัวแปร (Variable Importance: VI) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์เพื่อระบุว่า ตัวแปรอิสระ (predictor variables) ใดมีบทบาทหรืออิทธิพลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง มากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาจากผลกระทบของตัวแปรนั้นต่อความแม่นยำหรือโครงสร้างการตัดสินใจของแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิง (Hastie *et al.*, 2009) การประเมิน VI มีบทบาทสำคัญในหลายด้าน ได้แก่ ช่วยอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสิ่งแวดล้อมกับตัวแปรเป้าหมาย สนับสนุนการคัดเลือกตัวแปร (feature selection) ลดความซับซ้อนของข้อมูลและความซับซ้อนของโมเดล และเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์สำหรับการตัดสินใจ (Zhu *et al.*, 2015; Gregorutti *et al.*, 2017)

3) การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองในการทำแผนที่ดิน

ในการทำแผนที่ดินโดยใช้เทคนิคเชิงสถิติหรือแมชชีนเลิร์นนิง การแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลสำหรับการฝึก (training data) และ ชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (test data) เป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความสามารถในการทำนายของแบบจำลองในพื้นที่ที่ไม่เคยใช้ในการสร้างโมเดลมาก่อน (Hastie *et al.*, 2009) โดยทั่วไปนิยมแบ่งข้อมูลในอัตราส่วน 80:20, 70:30 หรือ 60:40 ซึ่งแต่ละสัดส่วนมีความเหมาะสมและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของชุดข้อมูล

3.1) อัตราส่วน 80:20 ข้อดีคือแบบจำลองมีข้อมูลฝึกจำนวนมาก ทำให้เรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และเชิงซับซ้อนได้ดี เหมาะกับงานแผนที่ดินที่มีตัวแปรอธิบายจำนวนมาก เช่น ปัจจัยภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ข้อจำกัดคือชุดข้อมูลทดสอบมีขนาดเล็ก อาจทำให้การประเมินความแม่นยำมีความไม่แน่นอนสูง หากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดไม่มาก Hengl *et al.* (2017) และ Minasny *et al.* (2013) ระบุว่า สัดส่วน 80:20 เป็นที่นิยมในงานแผนที่ดินแบบดิจิทัล เมื่อมีข้อมูลภาคสนามเพียงพอ

3.2) อัตราส่วน 70:30 ถือเป็นแนวทางที่สมดุลระหว่างการฝึกและการทดสอบแบบจำลอง ข้อดี ชุดข้อมูลทดสอบมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การประเมินความแม่นยำมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ลดความเสี่ยงของการประเมินผลที่ลำเอียง (over-optimistic accuracy) ข้อจำกัดคือข้อมูลฝึกน้อยลง อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ต้องการข้อมูลจำนวนมาก เช่น Random Forest หรือ Neural Networks อัตราส่วนนี้ถูกใช้บ่อยในงานด้านสิ่งแวดล้อมและภูมิสารสนเทศที่มีจำนวนตัวอย่างปานกลาง (Kuhn and Johnson, 2013)

3.3) อัตราส่วน 60:40 มักใช้ในกรณีที่ต้องการเน้นการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองอย่างเข้มงวด ข้อดีคือชุดข้อมูลทดสอบมีขนาดใหญ่ ทำให้การประเมินความแม่นยำมีความเสถียรและสะท้อนความสามารถในการทำนายจริงมากขึ้น เหมาะสำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองหลายแบบ

ข้อจำกัดคือข้อมูลฝึกมีจำนวนน้อย อาจทำให้แบบจำลองเรียนรู้รูปแบบเชิงพื้นที่ที่ไม่ครบถ้วน ไม่เหมาะกับชุดข้อมูลขนาดเล็ก ซึ่งอาจทำให้โมเดลมีความแม่นยำต่ำ McBratney *et al.* (2003)

การเลือกอัตราส่วน train:test สำหรับ Random Forest และ Quantile Random Forest ในงานแผนที่ดินควรพิจารณาจากขนาดและการกระจายของข้อมูล และวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ (ความแม่นยำกับความไม่แน่นอน) โดยทั่วไป อัตราส่วน 80:20 เหมาะกับข้อมูลน้อย เน้นการเรียนรู้ อัตราส่วน 70:30 เหมาะสมที่สุดในงานแผนที่ดินแบบดิจิทัลส่วนใหญ่ อัตราส่วน 60:40 เหมาะกับข้อมูลขนาดใหญ่และการประเมินผลเชิงสถิติ การแบ่งข้อมูล train/test ไม่ควรพิจารณาเฉพาะสัดส่วนเชิงปริมาณเท่านั้น แต่ควรคำนึงถึงการกระจายเชิงพื้นที่ของจุดตัวอย่าง และความเป็นอิสระเชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) Hengl *et al.* (2018) แนะนำว่า หากข้อมูลมีการเกาะกลุ่มเชิงพื้นที่ ควรใช้สัดส่วนที่ทำให้ test data ครอบคลุมความหลากหลายของสภาพพื้นที่ เพื่อหลีกเลี่ยงการประเมินความแม่นยำที่สูงเกินจริง

4) การทดสอบความแม่นยำของการประมาณค่าเชิงพื้นที่

สามารถบรรยายได้จากความถูกต้องของการประมาณค่าโดยใช้ลักษณะทางสถิติ เช่น

4.1) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute error: MAE) คือค่าเฉลี่ยของความต่างกันสัมบูรณ์ระหว่างค่าที่ได้จากการประมาณค่าและค่าจริง หากมีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งมีหน่วยตามค่าจริงนั้นๆ โดย MAE มีสูตรในการคำนวณดังนี้ (Ian and David, 2003)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \dots\dots\dots 1$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
 x คือ ค่าจริง
 y คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า

4.2) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error: RMSE) คือการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าที่ประมาณจากแบบจำลองยกกำลังสอง ถ้า RMSE มีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ถ้ามียุทธศาสตร์ค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ RMSE คำนวณได้ดังนี้ (Ian and David, 2003)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \dots\dots\dots 2$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
 x คือ ค่าจริง
 y คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า

4.3) Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) คือดัชนีที่นิยมใช้ในการบอกค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (model accuracy) หรือประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลของแบบจำลอง (model performance) (Nash and Sutcliffe, 1970) ในการคาดคะเนที่ต้องการ ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 (ตารางที่ 6)

$$NSE = 1 - \frac{\sum(x - y)^2}{2\sum(x - \bar{y})^2} \dots\dots\dots 3$$

เมื่อ x คือ ค่าจริง

y คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า

\bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าจริง

4.4) ค่า R^2 (Coefficient of Determination) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการประเมินสมรรถนะของแบบจำลองเพื่อคาดการณ์สมบัติดิน เพื่อสะท้อนความสามารถของแบบจำลองในการอธิบายความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติดินจากตัวแปรแวดล้อมเชิงพื้นที่ (ตารางที่ 7) งานวิจัยแบบจำลองแผนที่ดินดิจิทัลส่วนใหญ่มีค่า R^2 อยู่ในช่วงปานกลาง เนื่องจากข้อมูลดินมีความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่สูง (spatial heterogeneity) และได้รับอิทธิพลจากกระบวนการทางดินที่ซับซ้อน โดยทั่วไปค่า R^2 จากการตรวจสอบแบบ cross-validation ที่ต่ำกว่า 0.3 ถือว่าอยู่ในระดับต่ำ ขณะที่ค่าในช่วง 0.3–0.5 แสดงถึงความสามารถในการอธิบายแนวโน้มเชิงพื้นที่ได้ในระดับปานกลาง และค่า R^2 มากกว่า 0.5 ถือว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการจัดการทรัพยากรดิน ทั้งนี้การทำแผนที่ดินดิจิทัล ควรพิจารณาตัวชี้วัดอื่น เช่น RMSE bias ร่วมกับค่า R^2 และการตรวจสอบเชิงพื้นที่ (spatial cross-validation) เพื่อให้การประเมินความแม่นยำของแผนที่ดินมีความน่าเชื่อถือและสอดคล้องกับการใช้งานจริง (Minasny and McBratney, 2013; Nussbaum *et al.*, 2018; Wadoux *et al.*, 2020)

ตารางที่ 6 การแปลความหมายของค่า NSE

ค่า NSE	การแปลความหมายของความแม่นยำในการคาดคะเน (model accuracy)
<0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำน้อยกว่าการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย
0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำไม่ต่างจากการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย
>0 ถึง 0.36	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย (arithmetic mean)
0.36 ถึง 0.75	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำที่น่าพึงพอใจ (satisfactory prediction)
≥0.75 ถึง ≤1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำสูง (good prediction)
1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยไม่มีผิดพลาด (perfect fit)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nash and Sutcliffe (1970)

ตารางที่ 7 ช่วงค่าของ R² และการตีความสมรรถนะของแบบจำลองในการทำแผนที่ดินแบบดิจิทัล

ช่วงค่า R ²	ความหมายเชิงคุณภาพ	ประเภทแผนที่ / ตัวแปรดินที่พบ
< 0.3	ความสัมพันธ์แบบจำลองกับตัวแปรทำนายอ่อน	แผนที่ตัวแปรยากต่อการทำนายอย่างมีประสิทธิภาพ (เช่น ตัวชี้วัดชีวภาพที่ความแปรปรวนสูง)
0.3 ถึง 0.5	แบบจำลองอธิบายแนวโน้มเชิงพื้นที่ได้ปานกลาง	แผนที่พื้นฐาน เช่น พีเอชของดิน ความลึกดินของดิน ธาตุอาหารรอง
0.5 ถึง 0.7	ความสามารถทำนายดี เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่	แผนที่สมบัติทางเคมี เช่น อินทรีย์คาร์บอน และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน
≥ 0.7	แบบจำลองอธิบายความแปรปรวนได้สูง	แผนที่ตัวแปรที่โมเดลจับกับช่องว่างข้อมูลได้ดี

ที่มา: Wadoux *et al.* (2020)

การจัดทำแผนที่ดิจิทัลระดับความเค็มและโซดิกในดิน

แผนที่ระดับความเค็มและโซดิกในดินดิจิทัล เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่แสดงการแจกกระจายของความเสี่ยงของปัญหาความเค็มและโซดิกในดิน โดยการจัดทำแผนที่พัฒนาจากวิธีการของ FAO (2020) โดยใช้หลักการ ดังนี้

1) การใช้แผนที่ดินและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

วิเคราะห์หน่วยแผนที่ดินฉบับต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบและระบุพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกพื้นที่และประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ และการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่เพื่อวิเคราะห์สมบัติดิน เช่น ค่าไอซีอีและอีเอสพี ยืนยันพื้นที่และประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

2) การประยุกต์ใช้รีโมตเซนซิง

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรีโมตเซนซิงหรือการสำรวจระยะไกลในงานเกษตรและสิ่งแวดล้อมมีมานานแล้ว เนื่องจากการสำรวจระยะไกลให้ข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาเกี่ยวกับสภาพพื้นผิวดิน พืชพรรณ ภูมิอากาศ และชั้นบรรยากาศ ซึ่งสำคัญต่อการจัดการทรัพยากรดินและเกษตรกรรม โดยอาศัยการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนจากดินและพืชเพื่อตีความลักษณะต่าง ๆ ของพื้นผิว ทั้งรังสีจากดวงอาทิตย์ (passive) และรังสีจากเซนเซอร์ (active) ดาวเทียมเป็นแหล่งข้อมูลที่ใช้มากที่สุด เพราะครอบคลุมพื้นที่กว้าง มีภาพให้ดาวน์โหลดโดยไม่มีค่าใช้จ่าย เช่น Landsat, Sentinel, MODIS ตัวชี้วัดภาพ (indices) ที่ใช้จำแนกดินเค็ม เช่น NSI, SI, SAVI, VSSI, NDSI, NDVI, SR, CRSI และ BI

ข้อดีของการประยุกต์ใช้รีโมตเซนซิงคือ ความรวดเร็ว เหมาะกับพื้นที่กว้าง และสามารถใช้อักรายเวลาเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ แต่ข้อจำกัดคือ ตรวจจับการสะสมเกลือได้เฉพาะผิวดิน

การประเมินความเค็มในชั้นลึกต้องใช้แบบจำลอง ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อน จึงมีความพยายามแก้ไขข้อจำกัดโดยรวมรีโมตเซนซิงเข้ากับข้อมูลอื่น เช่น ภูมิอากาศ แผนที่ดิน และพืชพรรณ เพื่อให้ผลแม่นยำขึ้น

3) การสร้างแบบจำลองตัวชี้วัดปริมาณเกลือที่สะสมในดิน

พิจารณาใช้ตัวชี้วัดที่บ่งชี้พื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก เช่น ค่าอีซีอีและอีเอสพี และอาจมีการสอบเทียบจากการใช้อุปกรณ์การตรวจสอบดินอื่น ๆ เพื่อนำข้อมูลมาทำแผนที่ โดยมีแนวทางหลัก ดังนี้

3.1) ทำแผนที่สมบัติดิน จำแนกประเภทหรือชนิดของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

3.2) ทำแผนที่ประเภทหรือชนิดดินที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติดิน

3.3) จำแนกผลลัพธ์จากแบบจำลองที่สอบเทียบกับเครื่องมือตรวจสอบดิน

4) ความต้องการข้อมูล

ข้อมูลที่ต้องใช้ขึ้นอยู่กับวิธีการทำแผนที่ โดยวิธีที่อาศัยตัวชี้วัดดินต้องการข้อมูลมากที่สุดตามข้อเสนอแนะของ FAO (2020) สำหรับการจำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดังนี้

4.1) ข้อมูลดิน (Soil data)

(1) สมบัติดินที่วัดได้ (Measured soil properties)

(2) สมบัติดินเชิงปริมาตร (Bulk-soil properties) และแผนที่ดิน (Soil maps)

4.2) ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยกำเนิดดิน (Information on soil-forming factors)

ปัจจัยกำเนิดดินประกอบด้วย วัสดุต้นกำเนิด (parent material) การใช้ที่ดิน/ชนิด

พืชพรรณ

4.3) ข้อมูลประกอบอื่น ๆ เช่น ขอบเขตการปกครอง และข้อมูลเชิงพื้นที่ของปัจจัยก่อ

ปัญหาเกลือ เช่น ความใกล้ชายฝั่ง

4.4) แบบจำลองการแปลงค่า (Conversion models)

ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากสารสกัดดินอิ่มตัวหรืออีซีอี (EC_e) เป็นค่ามาตรฐานที่แนะนำสำหรับจำแนกความเค็ม แต่ห้องปฏิบัติการจำนวนมากไม่ได้วิเคราะห์อีซีอี เพราะขั้นตอนยุ่งยากและใช้เวลานาน จึงมักใช้การวิเคราะห์อื่น เช่น อัตราส่วนดิน:น้ำ 1:5 หรือ 1:2.5 (Landon, 1984) จึงต้องสร้างสมการแปลงค่าอีซีอีที่วัดจากสารละลายอื่นไปเป็นค่าเทียบเท่าอีซีอี (Hogg and Henry, 1984; Ozcan *et al.*, 2006; Sonmez *et al.*, 2008; Kargas *et al.*, 2018)

มีงานวิจัยที่ศึกษาและจัดทำแผนที่ความเค็มและโซดิกในดินหลายฉบับ อาทิ Asfaw *et al.* (2018) ได้พัฒนาแบบจำลองการทำแผนที่ความเค็มของดินโดยใช้ข้อมูลรีโมตเซนซิงร่วมกับตัวแปรภาคสนามให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.78 ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของแบบจำลองในการอธิบายความแปรปรวนของค่าความเค็มของดินได้ในระดับสูง สอดคล้องกับการรายงานของ Ma *et al.* (2021) ที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง CART, Random Forest และ XGBoost ในพื้นที่แห้งแล้งแถบ Tarim Basin

ของจีน พบว่าการทำแผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.5-0.8 เมื่อใช้แมชชีนเลิร์นนิง ร่วมกับข้อมูลดาวเทียมและตัวแปรเชิงสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม Taghizadeh-Mehrjardi *et al.* (2014) พบว่าการใช้แมชชีนเลิร์นนิง ทำแผนที่ความเค็มของดิน อธิบายการกระจายตัวของค่าไอซีไอได้อย่างมีประสิทธิภาพ โมเดล boosting เช่น XGBoost มีศักยภาพในการจับค่าความเค็มในช่วงค่าสุดโต่งได้ดีกว่าโมเดลแบบ bagging ซึ่งมักให้ผลพยากรณ์ที่เรียบเกินไป แม้ว่าจะงานที่ใช้ XGBoost โดยตรงใน salinity mapping จะยังมีจำนวนจำกัดเมื่อเทียบกับ Random Forest แต่แนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงหลัง โดยเฉพาะในงานที่บูรณาการข้อมูลหลายแหล่งและต้องการความแม่นยำสูง ในงานทำแผนที่ดินและสมบัติดินเชิงพื้นที่ งานระดับโลกอย่าง SoilGrids ใช้แนวคิดแมชชีนเลิร์นนิง ในการเชื่อมโยงข้อมูลดินภาคสนามกับตัวแปรสิ่งแวดล้อม (Hengl *et al.*, 2017) แม้ว่าจะงานเหล่านี้จะใช้อัลกอริทึม Random Forest เป็นหลัก แต่เริ่มมีการแนะนำให้ประเมินและพัฒนาแบบจำลองขั้นสูงด้วยอัลกอริทึมอื่น ๆ เช่น XGBoost และ deep learning เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของแผนที่สมบัติดินเฉพาะด้านในระดับพื้นที่และระดับประเทศ

สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาจำนวนหนึ่ง เช่น ชีรพร และยุรติกานต์ (2568) จัดทำแผนที่ดิจิทัลความเค็มของดินในฤดูแล้ง ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 และภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ในอำเภอจตุรัส จังหวัดชัยภูมิ พบว่าแผนที่ดิจิทัลสามารถระบุค่าการนำไฟฟ้าได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Demis and Gilles (2023) ที่ใช้แมชชีนเลิร์นนิงทำนายค่า soil salinity/sodicity ผลการศึกษาพบว่า R^2 ของไอเอสพีมีค่า 0.71 RMSE 12.6 R^2 ของไอซีไอมีค่า 0.92 RMSE 1.9 ยุรติกานต์ (2564) ทำนายความเค็มของดินโดยใช้วิธีการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและการประมาณค่าช่วงพื้นที่ มีค่า R^2 ระหว่าง 0.3479-0.3543

บทที่ 3

ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ที่ตั้งและอาณาเขต

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นที่ราบสูง (Plateau) ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14 ถึง 19 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 101 ถึง 106 องศาตะวันออก ประกอบด้วย 20 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเลย อุดรธานี นครพนม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด อุบลราชธานี ชัยภูมิ สุรินทร์ มุกดาหาร หนองบัวลำภู หนองคาย สกลนคร ขอนแก่น มหาสารคาม ศรีสะเกษ นครราชสีมา บุรีรัมย์ ยโสธร บึงกาฬ และจังหวัดอำนาจเจริญ (ภาพที่ 2) มีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศใต้	ติดต่อกับภาคตะวันออกและราชอาณาจักรกัมพูชา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับเทือกเขาเพชรบูรณ์

สภาพภูมิประเทศ

สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มที่ตอนแบบลูกคลื่นลอนลาด พื้นที่ลาดต่ำไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ภาพที่ 3) มีทิวเขาเพชรบูรณ์และทิวเขาตองพญาเย็นเป็นขอบทางด้านตะวันตก และมีทิวเขาสันกำแพงและทิวเขาพนมดงรักเป็นขอบทางด้านใต้ ส่วนพื้นที่ตอนกลางของภาคมีทิวเขาภูพานวางตัวทอดยาว แบ่งภาคออกเป็น 2 แอ่ง คือบริเวณตอนเหนือ-แอ่งรับน้ำสกลนคร อยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดสกลนคร นครพนม หนองคาย มุกดาหาร และอุดรธานี มีแม่น้ำสายหลักได้แก่ แม่น้ำโขง ศรีสงคราม ลำน้ำอูน และลำน้ำสาขาต่าง ๆ และบริเวณตอนใต้ แอ่งรับน้ำโดยมีแม่น้ำสายหลักได้แก่ แม่น้ำชี มูล น้ำพอง น้ำเชิญ และลำน้ำสาขาประกอบไปด้วยพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ สุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ อุบลราชธานี ร้อยเอ็ด ยโสธร มหาสารคาม ขอนแก่น และกาฬสินธุ์

สภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบ Köppen (Köppen and Geiger, 1936) บริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนและชุ่มชื้น (Aw) กล่าวคือ ในรอบปีหนึ่งๆ มีระยะเวลาฝนตกชุกช่วงหนึ่งสลับกับช่วงแล้งอย่างเห็นได้ชัด มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,230 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ย 24-27 องศาเซลเซียส แบ่งได้ 3 ฤดูกาล คือ

- ฤดูฝน เริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม
- ฤดูหนาว เริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์
- ฤดูร้อน เริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม

ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือน ของ 20 จังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย เลย อุดรธานี สกลนคร นครพนม หนองบัวลำภู บึงกาฬ ขอนแก่น มุกดาหาร มหาสารคาม กาฬสินธุ์ อัญญาเจริญ ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี ศรีสะเกษ นครราชสีมา สุรินทร์ และบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2538-2566 (ตารางที่ 8) ดังนี้

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.6 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีวัดได้ 36.1 องศาเซลเซียส ในช่วงฤดูร้อนเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวมากที่สุดในรอบปีวัดอุณหภูมิสูงที่สุดได้ 39.8 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงฤดูหนาวจะมีอากาศหนาวเย็นมากที่สุดในเดือนมกราคม วัดอุณหภูมิต่ำที่สุดได้ 12.6 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีวัดได้ 19.0 องศาเซลเซียส

2) ปริมาณน้ำฝน

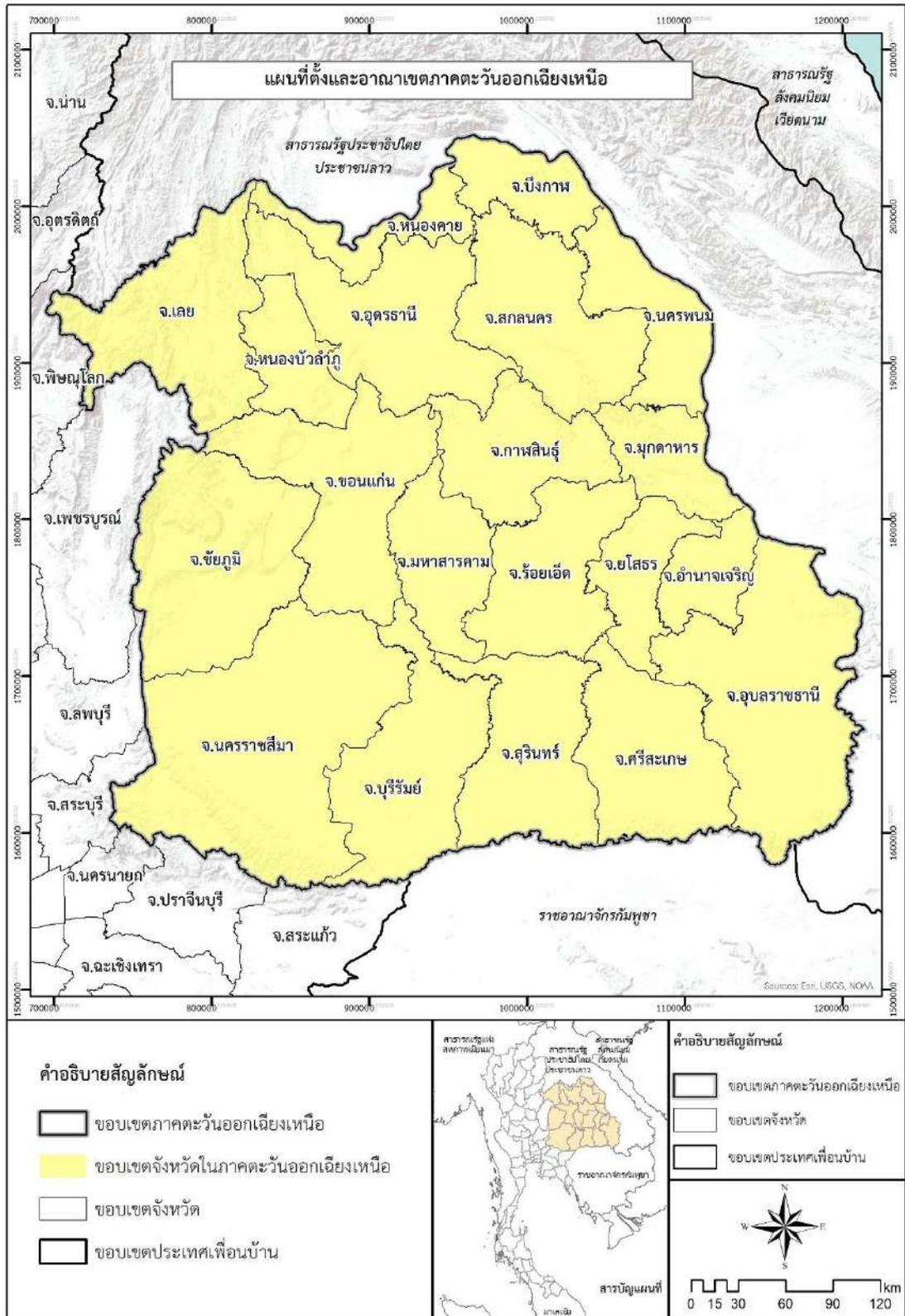
ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งปี 1,464.5 มิลลิเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากที่สุดในเดือนกันยายน คือ 269.3 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม คือ 5 มิลลิเมตร

3) ปริมาณน้ำฝนใช้การได้ (Effective Rainfall: ER)

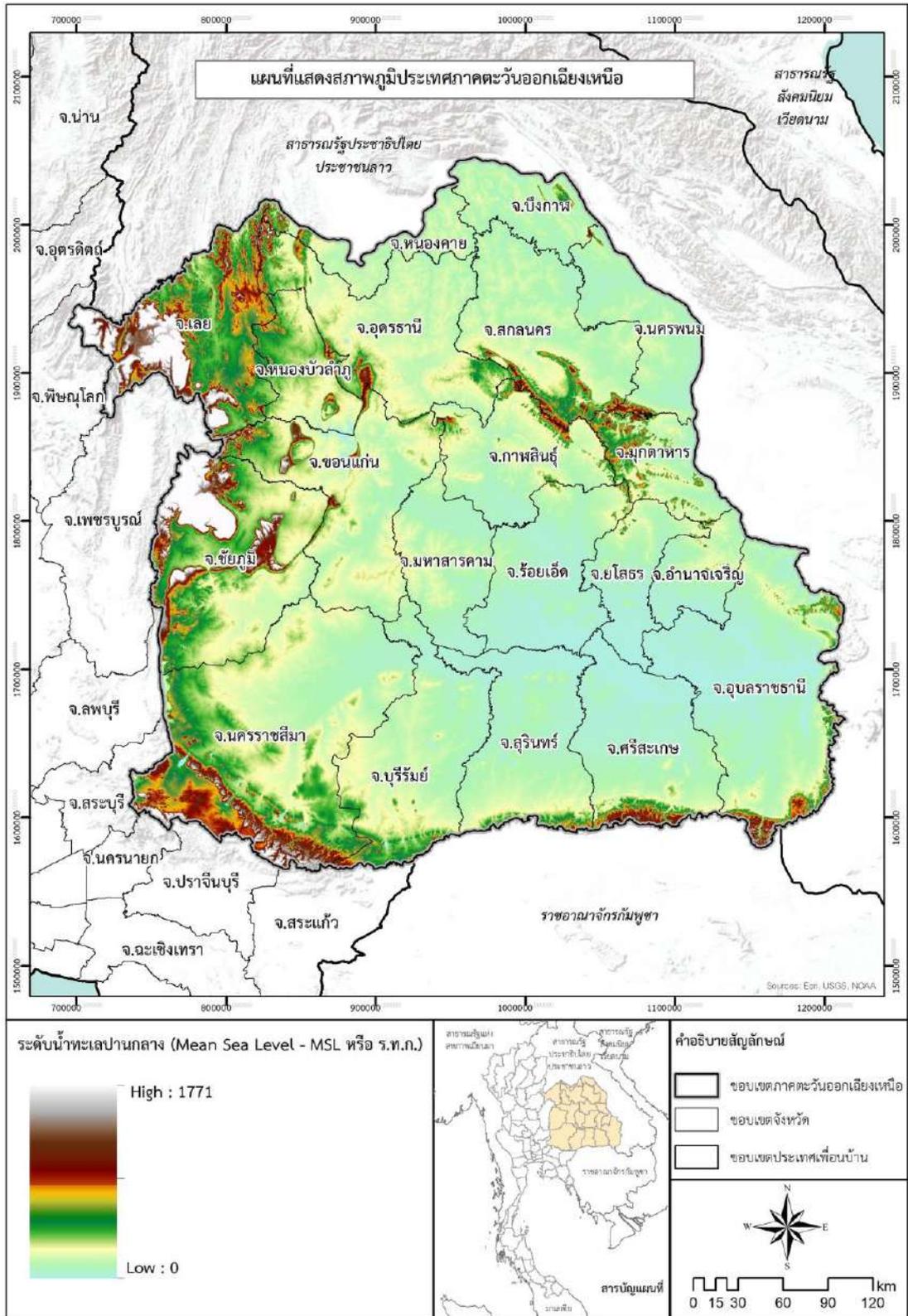
ปริมาณน้ำฝนที่ใช้การได้ คือพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ภายหลังจากมีการไหลซึมลงไปในดินจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วไหลบ่าออกมาเก็บกักในพื้นที่ดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้รวมตลอดทั้งปี 984.6 มิลลิเมตรต่อปี ในเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้มากที่สุด คือ 151.9 มิลลิเมตร และเดือนธันวาคมมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้น้อยที่สุด คือ 5 มิลลิเมตร

4) ความชื้นสัมพัทธ์และศักยภาพการคายระเหยน้ำ

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งปีร้อยละ 74 ปริมาณการคายระเหยเฉลี่ยตลอดทั้งปี 124.2 มิลลิเมตร ปริมาณการคายระเหยสูงสุดในเดือนเมษายน คือ 150.3 มิลลิเมตร และปริมาณการคายระเหยน้ำต่ำสุดในเดือนธันวาคม คือ 110.1 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2 แผนที่ตั้งและอาณาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ที่มา: กรมแผนที่ทหาร (2543)



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงสภาพภูมิประเทศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ที่มา: ดัดแปลงจาก Copernicus Global Digital Elevation Models (2024)

ตารางที่ 8 ข้อมูลภูมิอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คาบ 30 ปี (พ.ศ. 2538-2566)

เดือน	ปริมาณน้ำฝน	ปริมาณน้ำฝน ที่ใช้ประโยชน์*	อุณหภูมิ (°ซ)			ความชื้นสัมพัทธ์	ค่าศักยภาพการคาย ระเหยน้ำ (มม.)*	
	(มม.)	(มม.)	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย*	(เปอร์เซ็นต์)	PET	0.5 PET
มกราคม	8.6	8.5	12.6	34.5	23.6	67	111.0	55.5
กุมภาพันธ์	18.8	18.2	14.5	37.1	25.8	65	118.2	59.1
มีนาคม	46.2	42.8	17.6	39.1	28.3	64	143.5	71.8
เมษายน	89.7	76.8	20.8	39.8	30.3	68	150.3	75.2
พฤษภาคม	189.6	132.1	22.4	38.3	30.3	76	145.1	72.5
มิถุนายน	191.0	132.6	23.0	36.7	29.9	78	129.9	65.0
กรกฎาคม	245.5	149.1	22.8	36.0	29.4	80	122.5	61.2
สิงหาคม	262.4	151.2	22.7	35.2	28.9	82	118.7	59.4
กันยายน	269.3	151.9	22.3	34.7	28.5	84	111.3	55.7
ตุลาคม	114.9	93.8	19.9	34.2	27.1	79	119.0	59.5
พฤศจิกายน	23.5	22.6	16.4	34.5	25.5	73	110.4	55.2
ธันวาคม	5.0	5.0	12.8	33.7	23.2	69	110.1	55.0
รวม	1,464.5	984.6	-	-	-	-	1,490.	745.1
เฉลี่ย	122.0	82.1	19.0	36.1	27.6	74	124.2	62.1

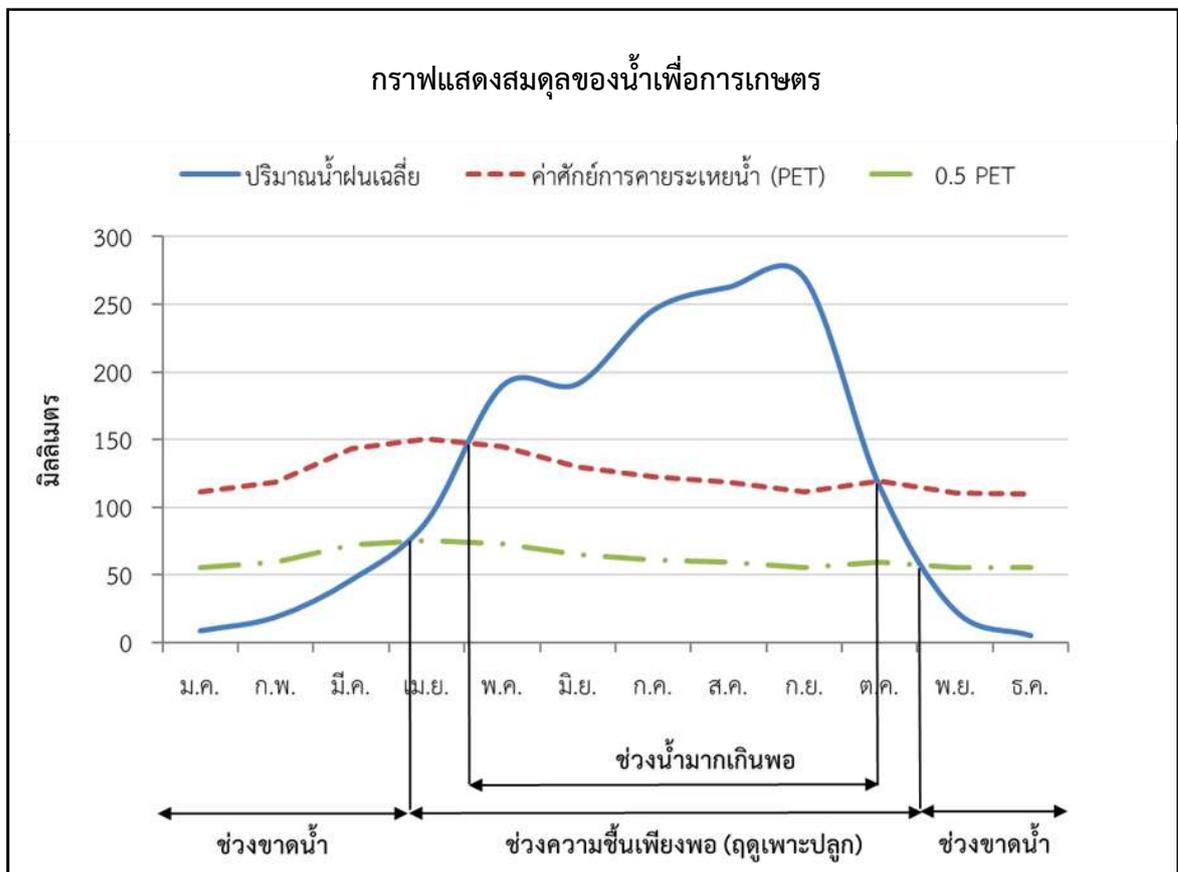
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2567)

หมายเหตุ: * จากการคำนวณ

5) การวิเคราะห์ช่วงฤดูกาลที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืช

การวิเคราะห์ช่วงฤดูเพาะปลูกพืชเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกพืช ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ย (Potential evapotranspiration: PET) ซึ่งคำนวณและพิจารณาจากระยะเวลาที่เส้นน้ำฝนอยู่เหนือเส้น 0.5 PET ถือเป็นช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการปลูกพืชจากการวิเคราะห์ช่วงฤดูกาลที่เหมาะสมจากการปลูกพืชเศรษฐกิจของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 4) มีดังนี้

- ช่วงน้ำมากเกินพอ อยู่ระหว่างต้นเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม
- ช่วงความชื้นเพียงพอต่อการเพาะปลูก อยู่ระหว่างต้นเดือนเมษายนถึงต้นเดือนพฤศจิกายน
- ช่วงขาดน้ำ อยู่ระหว่างต้นเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนเมษายนของปีถัดไป



ภาพที่ 4 กราฟแสดงสมดุลของน้ำเพื่อการเกษตร

ธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากแผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐาน 50,000 พบว่าลักษณะทางธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบหน่วยหินต่าง ๆ (ตารางที่ 9) (กรมทรัพยากรธรณี, 2566)

1) หินอัคนี

1.1) ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ดีโวเนียน (Carboniferous -Devonian) มีอายุประมาณ 345-395 ล้านปี

1.2) ยุคไทรแอสซิก-เพอร์เมียน (Triassic Permian) มีอายุประมาณ 210-286 ล้านปี

1.3) ยุคไทรแอสซิก (Triassic) มีอายุประมาณ 210-245 ล้านปี

2) หินตะกอนและหินแปร

2.1) ยุคดีโวเนียน-ไซลูเรียน (Silurian-Devonian) มีอายุประมาณ 443-420 ล้านปี

2.2) ยุคดีโวเนียน (Devonian) มีอายุประมาณ 420-360 ล้านปี

2.3) ยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous) มีอายุประมาณ 360-298 ล้านปี

2.4) ยุคเพอร์เมียน (Permian) มีอายุประมาณ 298-250 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน

2.5) ยุคไทรแอสซิก (Triassic) มีอายุประมาณ 250-210 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน

2.6) ยุคจูแรสซิก (Jurassic) มีอายุประมาณ 210-140 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน

2.7) ยุคครีเทเชียส (Cretaceous: Ksk, Kpp, Kkk) อายุประมาณ 140-66.4 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน

2.8) ยุคเทอร์เชียรี -ครีเทเชียส (Tertiary-Cretaceous) อายุประมาณ 66.4-1.6 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน

3) ตะกอน

ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) อายุประมาณ 1.6-0.1 ล้านปี เป็นหินตะกอน

ตารางที่ 9 หน่วยแผนที่ธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หน่วยทาง ธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
หินอัคนี (IGNEOUS ROCKS)			
DCsp	หินบะซอลต์ สีเทาถึงเทาแกมเขียว เนื้อละเอียด และ พบแร่แคลไซต์ สปิติก และหินแก้วภูเขาไฟ (ทัฟฟ์)	ยุคคาร์บอนิเฟอรัส- ดีโวเนียน	345-395
Dcb	หินเซอร์เพนทีไนต์ ผุกร่อนมาก รอยแตกมาก	(Carboniferous - Devonian)	
PTrv	หินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินแก้วภูเขาไฟ (ทัฟฟ์) หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ หินไรโอลิติกทัฟฟ์ หินแอนดีซิดิกทัฟฟ์		
PTrh	หินไรโอไลต์ และหินภูเขาไฟคล้ายคลึง เช่น หินไรโอเดไซต์ สีม่วง-ม่วงเทา และสีเทาเขียว เนื้อดอกและ เนื้อละเอียดขนาดเดียว เฟลด์สปาร์และควอตซ์เป็นแร่ ดอกหยาบ เนื้อธารไหล หินชั้นภูเขาไฟ เนื้อไรโอไลต์ ได้แก่หินทัฟฟ์ พบอยู่ทั่วไป	ยุคไทรแอสซิก -เพอร์เมียน (Triassic-Permian)	210-286
PTran	หินแอนดีไซต์ และหินภูเขาไฟคล้ายคลึง เช่น หินแดไซต์ เนื้อดอกถึงเนื้อขนาดเดียว และหินแก้วภูเขาไฟ และ หินทัฟฟ์ หินแอนดีไซต์กรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ และ หินกรวดภูเขาไฟ โดยมีหินไรโอไลต์บ้าง		
Trdi	หินไดออไรต์ สีเทาถึงเทาเข้ม เนื้อปานกลาง		
Trgd	หินแกรนไดออไรต์ สีเทา เนื้อปานกลางถึงหยาบ	ยุคไทรแอสซิก (Triassic)	210-245
Trgr	หินแกรนไดออไรต์ หินไอออไรต์ และ หินมอนโซไดออไรต์		
Tbs	หินบะซอลต์ สีเทาเข้มถึงสีดำ เป็นแบบรูพรุน และเป็น แบบฟอง ประกอบด้วยผลึกโอลีวิน ไพรอกซีน และ สปิเนลบางแห่งแสดงรอยแตกแบบเสา	ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary)	0.1-0.3
หินตะกอนและหินแปร (SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS)			
SD	หินฟิลไลต์ หินฟิลไลต์เนื้อคาร์บอน และหินฟิลไลต์ เนื้อซิลิกา	ยุคดีโวเนียน-ไซลูเรียน (Silurian-Devonian)	443-420
D	หินเชิร์ต หินทัฟฟ์ หินปูนเลนส์ และหินดินดาน สลับ บ้าง	ยุคดีโวเนียน (Devonian)	420-360

ตารางที่ 9 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
C1	หินทรายเนื้อควอร์ตซ์ หินดินดาน เนื้อทรายแป้ง หินปูนเลนส์สีเทา และหินกรวดมนแทรกสลับ	ยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous)	360-298
C2	หินดินดานที่มาจากซากดึกดำบรรพ์และหินโคลน หินทราย สีเทาแกมเหลือง หินทรายแป้ง สีแดง และ หินปูน ชั้นบางสลับ		
Pn	หินปูน สีดำถึงเทาดำ ลักษณะมีลายเป็บบแถบหยาบ และถ้ำ มีซากไครนอยด์ ฟิวซูลินิต และปะการัง หินเชิร์ต แสดงชั้นชัดเจน หินดินดานและหินทราย เนื้อทัฟฟ์ สีเทาแกมน้ำตาล น้ำตาลแกมเทาและสีหนึ่ง ลูกวัวอ่อน และมีหินภูเขาไฟ แทรกด้วยบางแห่ง แปรสภาพเป็นหินฮอร์นเฟลส์ หินชนวน และ หินควอร์ตไซต์ ส่วนมากมีซากไครนอยด์ ฟิวซูลินิตและ ปะการัง	ยุคเพอร์เมียน (Permian)	298-250
Pa	หินดินดาน หินดินดานกึ่งหินชนวน และหินชนวนชั้น บาง สีเทา ขี้ม้า น้ำตาล และน้ำตาลแกมแดงเรื่อ มีชั้น หินทรายและหินปูนแทรกเป็นกระเปาะบ้าง บางแห่ง เป็นหินฮอร์นเฟลส์		
Pk	หินปูน สีเทาแก่ ถึงเทาอ่อน ชั้นบางๆ ถึงชั้นหนา และ หินปูนเนื้อดิน ตกผลึกใหม่ มักมีหินเชิร์ตที่เป็น กระเปาะ เป็นชั้นดีและเป็นเลนส์แทรก มีหินดินดาน เนื้อฟิลไลต์รองรับอยู่ส่วนล่าง บางบริเวณเป็นหินอ่อน และหินแคลท์ซิลิเกต พบซากดึกดำบรรพ์จำพวก ไครนอยด์ สาหร่าย ฟิวซูลินิต ฟอแรมขนาดเล็ก ออสตราคอด ปะการัง หอยเจดีย์ ไบรโอซัว และ เพลเลต		
Ps	หินดินดาน สีเทาแกมเขียว ถึงสีเทาแกมเขียวเข้ม ชั้นบาง มีเลนส์หินปูนสีเทาเข้าสลับในส่วนล่าง หินดินดานเนื้อฟิลไลต์ หินทรายแป้ง และหินทราย สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลเทา สีเทา และสีดำ ชั้นบาง ชั้นหินส่วนล่างสลับด้วยหินเชิร์ตสีเทาชั้นบาง บางแห่ง เป็นหินทรายเนื้อทัฟฟ์ และหินดินดานเนื้อปนกรวด บางบริเวณแปรสภาพเป็นดินดานเนื้อชนวน หินชีสต์ หินฮอร์นเฟลส์ และควอร์ตไซต์		

ตารางที่ 9 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
หินตะกอนและหินแปร (SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS)			
Ppn	หินปูน หินปูนเนื้อดิน และหินปูนโดโลไมต์ สีเทาถึงเทาดำ เนื้อละเอียดตกผลึกใหม่บางบริเวณถูกแทนที่ด้วยโดโลไมต์ และซิลิกาแบบเฉพาะที่ ชั้นหินหนาถึงเป็นมวลหิน พบหินเชิร์ตสีน้ำตาลทั้งแบบก้อน และแถบชั้นซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิต แบรคิโอพอด หอยเจดีย์ และฟองน้ำ		
Phn	หินดินดาน สีเทา หินทรายสีน้ำตาลแกมเหลือง หินดินดาน สลับชั้นด้วย หินทรายเกรวแกว หินดินดาน สลับชั้นด้วยหินปูนเนื้อดิน และมีหินปูนเป็นเลนส์ พบซากดึกดำบรรพ์ของฟิวซูลินิต แบรคิโอพอด หอยเจดีย์ และเศษพืช		
Pnd	หินดินดาน สีเทาดำ น้ำตาลแดง หินทราย สีน้ำตาลเหลือง น้ำตาลแดง มีชั้นเฉียงระดับขนาดกลาง มีการคดโค้งมาก มีซิลิเซียสเชื่อมประสาน หินปูน สีเทาถึงเทาเข้ม แสดงชั้นดีและชั้นบาง หินปูนเป็นเลนส์ พบซากดึกดำบรรพ์ของฟิวซูลินิต แบรคิโอพอด หอยเจดีย์ ไครนอยด์ แอมโมไนต์ และเศษพืช	ยุคเพอร์เมียน (Permian)	298-250
P1	หินปูน สีเทา สีเทาขาว ชั้นหินชัดเจน ชั้นบางถึงหนาถึงซากดึกดำบรรพ์พวกคดข้าวสาร ปะการัง ฟองน้ำ สาหร่าย		
P2	หินดินดาน สลับ หินทราย หินปูนเลนส์สีเทา		
P3	หินดินดาน สีน้ำตาล สีน้ำตาลเทา หินทราย และหินกรวดภูเขาไฟ		
Trhl	หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน สีเทาปนน้ำตาลถึงสีเทา เนื้อปนปูนและหินกรวดมน		
Trmp	หินทราย สีน้ำตาลแกมแดง เม็ดละเอียดถึงปานกลาง คัดขนาดดี เม็ดกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งมน สลับชั้นด้วย หินทรายแป้งและหินดิน มีเม็ดปูน สีเทา สีเทาแกมม่วง		

ตารางที่ 9 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
Jpk	หินทราย สีน้ำตาลถึงม่วงแดง เม็ดละเอียดถึงปานกลาง การคัดขนาดไม่ดี หินทรายเนื้อเฟลสปาร์ (หินอาร์โคส) เม็ดปานกลาง สีขาวปนเทา แทรกสลับ หินทรายแป้ง และ หินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง เนื้อปนไมกา แสดงชั้นเม็ดปูนซากดึกดำบรรพ์พวกสัตว์มีกระดูกสันหลัง และหอยสองฝา	ยุคจูแรสซิก	210-140
JKpw	หินทรายเนื้อควอตซ์ สีขาวปนเทา เนื้อควอตซ์ เม็ดละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดค่อนข้างดี เม็ดค่อนข้างกลม เม็ดกรวด ประกอบด้วย ควอตซ์ เชิร์ต สีเทาและดำ และหินควอร์ตไซต์ แสดงชั้นเฉียงระดับหินทรายแป้ง และหินโคลนชั้นบาง แทรกสลับเป็นแห่งๆ	(Jurassic)	
Ksk	หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อควอตซ์ และหินทรายเนื้อเฟลสปาร์ (หินอาร์โคส) สีน้ำตาลม่วง ขนาดเม็ดปานกลาง การคัดขนาดไม่ดี การเชื่อมประสานปานกลาง แสดงชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก บางบริเวณพบซากดึกดำบรรพ์		
Kpp	หินทราย สีขาวปนเทา เม็ดปนกรวด มีขนาดปานกลางถึงเม็ดหยาบ การคัดขนาดไม่ดี เม็ดค่อนข้างเหลี่ยม ถึงขนาดค่อนข้างกลม เม็ดกรวด ประกอบด้วย ควอตซ์ และเชิร์ต สีแดง เทา ดำ น้ำตาล หินภูเขาไฟ และหินควอร์ตไซต์แสดงชั้นเฉียงระดับ หินทรายแป้ง และหินโคลน ชั้นบาง สีเทาถึงเทาดำ และแทรกสลับด้วยหินกรวดมนเป็นแห่งๆ	ยุคครีเทเชียส	140-66.4
Kkk	หินทราย สีน้ำตาลแดงและน้ำตาลแกมแดง เม็ดละเอียดถึงปานกลางการคัดขนาดไม่ดี หินทรายแป้ง และหินโคลนสีน้ำตาลแกมแดง เนื้อปนไมกา แสดงชั้นเม็ดเม็ดปูน	(Cretaceous)	
KTms	หินโคลน หินดินดาน หินทรายแป้ง และหินทรายเนื้อละเอียด สีแดงและน้ำตาลแดง มีแร่เกลือหิน ยิปซั่ม และแอนไฮไดรต์		
KTpt 1	หินทรายสลับหินทรายแป้ง สีอิฐ สีสนิมเหล็ก หินทรายสีน้ำตาลแดงเนื้อหยาบปานกลางถึงละเอียด เป็นชั้นหนาที่มีการวางชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ แทรกสลับกับหินทรายสีแดงและหินทรายแป้ง แกมน้ำตาลถึงแกมม่วง เนื้อละเอียดมากถึงหินทรายแป้งเนื้อปูนผสม		

ตารางที่ 9 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
KTpt 2	หินทรายแปง หินทรายเนื้อละเอียด สีน้ำตาลแดง เป็นชั้นแบบคลื่นสลับชั้นกัน หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ สีแดงอิฐ ขนาดเม็ดละเอียดแสดงชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก และแถบชั้นบางเฉียงระดับหินโคลน และหินเคลย์ สีน้ำตาลแดง สีแดงส้ม พบร่องรอยซากสัตว์		
KTpt	หินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแปง สีน้ำตาลแกมส้ม สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ ระดับขนาดเล็ก พบซากดึกดำบรรพ์ประเภทรูหนอน		
KTky	หินทราย สีแดงอิฐ ถึงสีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแปง และหินเคลย์ เนื้อปนปูนในส่วนกลาง		
KTpk	หินทรายสีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแปง หินเคลย์ และหินกรวดมน		
KTpt 1	หินทรายสลับหินทรายแปง มีอิฐ สีสนิมเหล็ก หินทรายสีน้ำตาลแดงเนื้อหยาบปานกลางถึงละเอียด เป็นชั้นหนาที่มีการวางชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ แทรกสลับกับหินทรายสีแดงและหินทรายแปง แกมน้ำตาลถึงแกมม่วง เนื้อละเอียดมากถึงหินทรายแปงเนื้อปูนผสม	ยุคเทอร์เชียรี - ครีเทเชียส (Tertiary- Cretaceous)	66.4-1.6
KTpt 2	หินทรายแปง หินทรายเนื้อละเอียด สีน้ำตาลแดง เป็นชั้นแบบคลื่นสลับชั้นกัน หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ สีแดงอิฐ ขนาดเม็ดละเอียดแสดงชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก และแถบชั้นบางเฉียงระดับหินโคลน และหินเคลย์ สีน้ำตาลแดง สีแดงส้ม พบร่องรอยซากสัตว์		
KTpt	หินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแปง สีน้ำตาลแกมส้ม สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ ระดับขนาดเล็ก พบซากดึกดำบรรพ์ประเภทรูหนอน		
KTky	หินทราย สีแดงอิฐ ถึงสีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแปง และหินเคลย์ เนื้อปนปูนในส่วนกลาง		
KTpk	หินทรายสีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแปง หินเคลย์ และหินกรวดมน		

ตารางที่ 9 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
ตะกอน (SEDIMENTS)			
Qr	ตะกอนที่ฝังอยู่กับที่ : หินผุ ลูกรัง และศิลาแลง		
Qc	ตะกอนเศษหินเชิงเขา : เศษหิน ทราย ทรายแป้ง และแม่รัง		
Qt	ตะกอนตะกัปลำน้ำ : กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียวและศิลาแลง		
Qas	ตะกอนเนินทราย : ทราย เนือปานกลาง การกัดขนาดดี ปานกลาง ความมนปานกลาง ไม่พบโครงสร้างชั้นตะกอนเลย		
Qa	ตะกอนธารน้ำพา : ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว กรวด และศิลาแลง	ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary)	1.6-0.1
Qff	ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง : ดินเหนียว และดินเหนียวปนทราย เนื้อละเอียด ชั้นหนา เนื้อเหนียว พบเม็ดเหล็กบ้างเล็กน้อย		
Qfc	ตะกอนร่องทางน้ำพา : ดินเหนียว สีดำ เหนียวนิ่ม ทราย เนือปานกลาง การกัดขนาดดี ความมนปานกลาง แสดงชั้นเฉียงระดับชัดเจน สภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนสลับกันไปมา ในร่องทางน้ำ สันทราย สันดอนทรายกลางน้ำ บึงน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง พบซากไม้ที่ถูกไฟไหม้สะสมตัวอยู่เป็นจำนวนมาก		

ธรณีสัณฐานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลักษณะทางธรณีวิทยาช่วยในการคาดคะเนของชนิดวัตถุต้นกำเนิดดิน จึงได้แบ่งชนิดของสภาพพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ออกเป็น 4 ส่วน ตามลักษณะภูมิสัณฐานและสภาพพื้นที่ที่พบร่วมกับลักษณะทางธรณีวิทยา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558; สกฤษะ, 2558) ดังนี้

1) ที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain)

พบบริเวณหน่วยทางธรณีวิทยาแบบ Qa (alluvial deposit Quaternary) เป็นที่ได้รับอิทธิพลของแม่น้ำ/ลำน้ำสาขา วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพา (alluvium) สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงราบเรียบ ในหน้าฝนหรือหน้าน้ำหลากมักมีน้ำท่วมและมีการทับถมของตะกอนเพิ่มมากขึ้นหลังน้ำท่วมประกอบด้วย พื้นที่ 2 ส่วน คือ

1.1) สันดินริมน้ำ (levee) โดยทั่วไปจะเป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีการระบายน้ำค่อนข้างดีถึงดี

1.2) ที่ลุ่มหลังสันดิน (back swam, basin) เป็นบริเวณพื้นที่ต่ำ มีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว ดินมีการพัฒนาไม่มากนัก

2) ตะพักลำน้ำ (alluvial terrace)

พบบริเวณหน่วยธรณีวิทยาแบบ Qa และ Qt (terrace deposit Quaternary) เป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของแม่น้ำ/ลำน้ำสาขา วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำ มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบเป็นขั้น ๆ ข้างตลิ่งเกิดทางน้ำที่ตะกอนตกจมทับถมกลายเป็นที่ราบลุ่ม แล้วต่อมาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับฐาน กระแสน้ำไหลแรงและสามารถกัดเซาะที่ราบลุ่มน้ำจนต่ำลง จึงทำให้ที่ราบลุ่มน้ำส่วนที่เหลืออยู่สูงกว่าท้องน้ำใหม่ ๆ เมื่อเวลาผ่านไปท้องน้ำจะยิ่งกว้างออกไป และอาจเกิดที่ราบลุ่มตรงท้องน้ำที่กว้างออกไปขึ้นอีก วนเวียนกันไปเรื่อย ๆ จนเกิดที่ราบเป็นขั้น ๆ ในบริเวณนั้น โดยตลิ่งแต่ละข้างอาจมีตะพักได้หลายระดับ ได้แก่ ตะพักลำน้ำระดับต่ำ (low alluvial terrace) ตะพักลำน้ำระดับกลาง (middle alluvial terrace) และตะพักลำน้ำระดับสูง (high alluvial terrace)

ลักษณะดินบริเวณตะพักลำน้ำมีความแตกต่างกันออกไป บริเวณตะพักลำน้ำระดับต่ำ มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลว สีดินเป็นสีน้ำตาลปนเทา น้ำตาล มีจุดประสีต่าง ๆ เนื้อดินอาจเป็นดินร่วน ดินเหนียว หรือร่วนเหนียวปนทราย ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน หรือดินที่ได้รับอิทธิพลจากหินอมเกลือ ส่วนบริเวณตะพักลำน้ำระดับกลางและระดับสูง (middle-high alluvial terrace) มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ ดินมีการระบายน้ำดี ดินมีสีน้ำตาล เหลือง จนแดง เนื้อดินค่อนข้างเป็นทรายหรือทรายแป้ง และมักจะพบก้อนกรวดท้องน้ำลักษณะกลมมนหรือตะกอนทรายหยาบในตอนล่างลึก ๆ ของหน้าตัดดิน ที่บ่งบอกถึงการเป็นตะกอนที่ถูกพัดพามา (ส่วนใหญ่พบอยู่ลึกมากกว่า 2 เมตร)

3) พื้นที่เกือบราบ (peneplain/planation)

พื้นที่เกือบราบหรือที่ราบนี้จะเป็นผืนแผ่นดินที่การผุพังทำลายทำให้เขาก่อนลง ๆ จนเกือบราบหรือเป็นคลื่นน้อย ๆ พื้นราบนี้หากถูกยกตัวขึ้นสูง ดูจากเบื้องล่างเห็นเป็นภูเขาใหญ่ แต่เมื่อมองจากอากาศแล้วเห็นขอบเขตของพื้นราบในอดีตได้ บริเวณพื้นที่นี้ จะครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบหน่วยทางธรณีวิทยาในกลุ่มหินโคราช ส่วนใหญ่เป็นหมวดหิน KTpt, KTms และ Kkk วัตถุต้นกำเนิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่หรือถูกเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุหยาบที่มาจากหินตะกอน ที่ส่วนเป็นพวกหินทราย ไม่ค่อยพบชิ้นส่วนหรือเศษหินของหินทรายในหน้าตัดดินหรือบริเวณผิวหน้าดิน

พื้นที่เกือบราบหรือที่เกือบราบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ โดยอาศัยลักษณะความสูงต่ำ (relief) ระดับความรุนแรงของการกัดเซาะ (degree of dissected) และความลาดชันของสภาพพื้นที่ ดังนี้

3.1) พื้นที่เกือบราบ ความสูงต่ำของพื้นที่เป็นแบบราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย

บริเวณนี้มีความรุนแรงของการกัดเซาะอยู่เล็กน้อย มีความลาดชันของพื้นที่ตั้งแต่ประมาณร้อยละ 0-5 พบเป็นส่วนใหญ่บริเวณส่วนล่างของหน่วยทางธรณีวิทยาแบบ KTpt, KTms และบางส่วนของ

Kkk รวมไปถึงช่วงรอยต่อของ Qa และ KTms หรือ Kkk สมบัติของดินมีลักษณะแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ที่พบ โดยดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงเร็วในบริเวณที่ราบลุ่มหรือที่ราบ หรือตามร่องระหว่างที่ดอนหรือเนิน เนื้อดินส่วนใหญ่มีทรายปน ดินมีสีเทาหรือน้ำตาลปนเทา เป็นสีพื้น และพบจุดสีต่าง ๆ ถัดขึ้นมาบริเวณพื้นที่ที่ค่อนข้างราบเรียบถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย ดินจะมีสีน้ำตาล น้ำตาลปนเหลือง เหลือง และมีจุดประสีเทาค่อนข้างชัดเจนโดยเฉพาะในช่วงตอนบนอันเนื่องมาจากการขังน้ำ นอกจากนี้จะพบจุดประสีเหลือง น้ำตาล หรือแดงในหน้าตัดดิน ดินมีการระบายน้ำอยู่ระหว่างค่อนข้างเร็วถึงปานกลาง

ในอดีต พื้นที่บริเวณนี้ใช้ปลูกพืชไร่ ไม้ผลหรือไม้ยืนต้น ปัจจุบันส่วนใหญ่ได้มีการตัดแปลงสภาพพื้นที่โดยการทำคันนา เพื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว ซึ่งคันนามีลักษณะค่อนข้างกว้างและสูง เนื่องจากเกษตรกรได้ปาดเอาหน้าดินที่เป็นชั้นดินทรายและหนาออกไปกองไว้เพื่อทำคันนาสำหรับใช้ปลูกข้าว บางบริเวณหากมีชั้นดินเหนียวอยู่ด้านล่างสามารถเก็บกักน้ำได้ มักจะพบชั้นลูกรังทั้งที่มีความหนามาก ๆ หรือเป็นชั้นบาง ๆ ในช่วงดินที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อดินจากเนื้อดินเหนียวเป็นเนื้อละเอียด ค่าปฏิกิริยาดินในสนามส่วนใหญ่เป็นกรดถึงปานกลาง แต่หากบริเวณใดที่ได้รับอิทธิพลของความเค็ม จะมีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงต่างปานกลาง และมีคราบเกลือบริเวณผิวหน้าดิน ส่วนบริเวณที่ดอนแบบลูกคลื่นลอนลาด และการระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างดีเกินไป ดินจะมีสีน้ำตาลปนเหลือง จนถึงแดง และอาจพบจุดเล็กน้อย ค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย

3.2) พื้นที่เกือบราบ ความสูงต่ำของพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเนินเขา

บริเวณนี้มีความรุนแรงของการกัดเซาะปานกลางถึงรุนแรง มีความลาดชันของพื้นที่ตั้งแต่ประมาณร้อยละ 5-20 พบเป็นส่วนใหญ่บริเวณตอนล่างของหน่วยงานธรณีวิทยาแบบ Kkk และตอนบนของหน่วย KTms ดินส่วนใหญ่มีการระบายน้ำค่อนข้างดีถึงดี ดินมีสีน้ำตาล น้ำตาลปนเหลือง เหลือง น้ำตาลปนแดง จนถึงสีแดง เนื้อดินทรายปนอย่างชัดเจน บางบริเวณพบลูกรังในหน้าตัดดิน ค่าปฏิกิริยาเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง บริเวณนี้ส่วนใหญ่ใช้ปลูกพืชไร่ชนิดต่าง ๆ รวมถึงไม้ผล ไม้ยืนต้น บางส่วนยังคงสภาพเป็นป่าทั้งชุมชนและป่าเต็งรัง แต่ก็มีบางบริเวณที่มีการตัดแปลงสภาพพื้นที่ที่ทำคันนา เพื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว แต่ไม่ค่อยจะได้ผลผลิตข้าวมาก เนื่องจากสภาพพื้นที่และลักษณะดินไม่เหมาะสม มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ แต่สามารถปลูกข้าวในบริเวณที่ลุ่มระหว่างเนิน ที่ดินมีการระบายน้ำแบบค่อนข้างเร็วถึงเร็ว ดินมีเทาหรือน้ำตาลปนเทาและมีจุดประสีต่าง ๆ

4) หน่วยที่รองรับด้วยหินชนิดต่าง ๆ และโครงสร้างของหิน (Rocks controlled landform/structural unit)

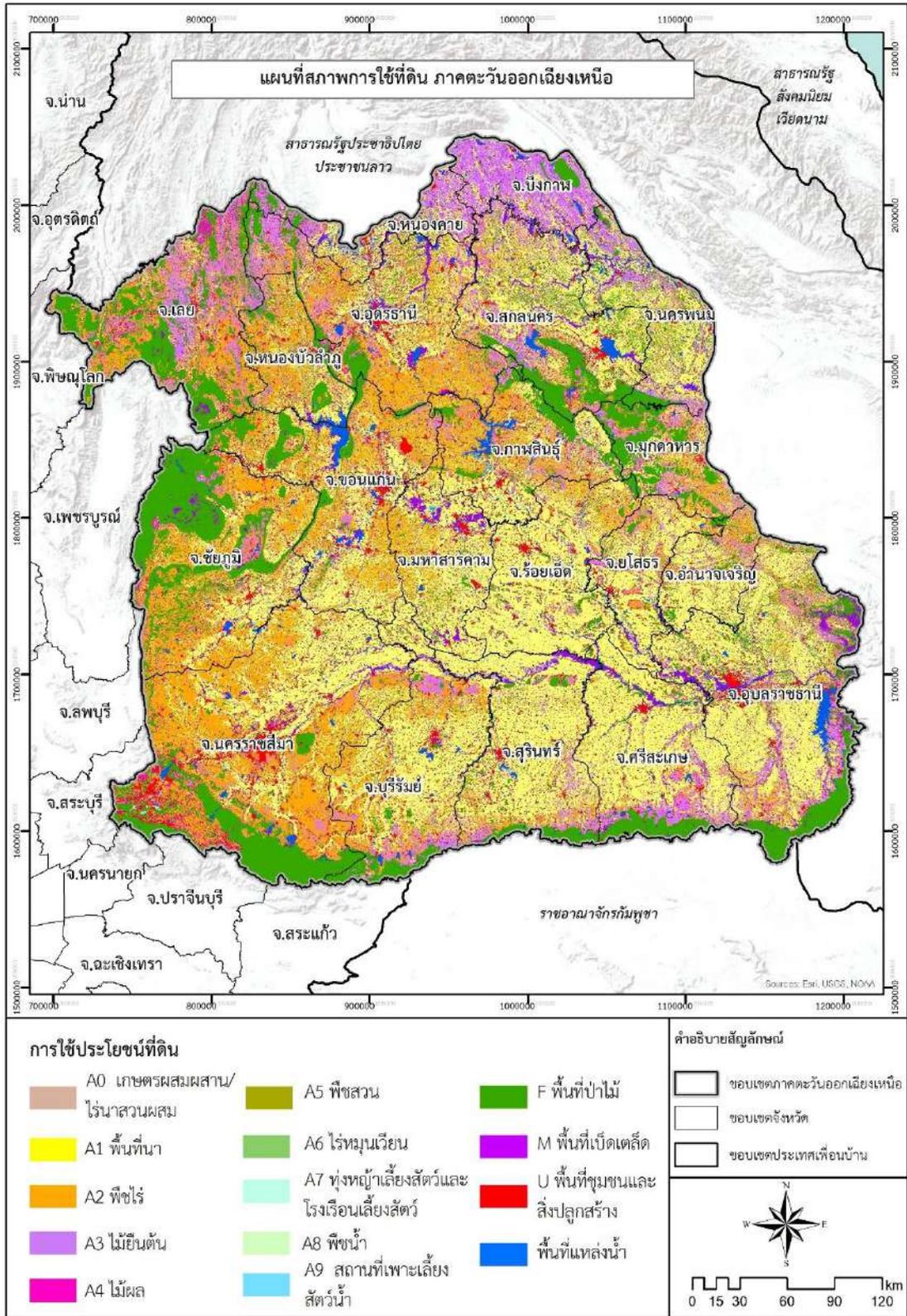
บนบริเวณหน่วยทางธรณีวิทยาแบบที่มีอายุในช่วงเวลาต่าง ๆ มีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขา หุบเขาเนินหรือที่ราบ เกิดจากการที่หินผุพังสลายตัวในลักษณะที่แตกต่างและมีสภาพคงทนต่อการกัดกร่อนของตัวการแบบต่าง ๆ ได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหินแต่ละชนิดและถูกควบคุมด้วยลักษณะของโครงสร้างทางธรณีวิทยา ส่วนใหญ่มักมีหินที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดดินปะปนให้เห็นทั้งในหน้าตัดหรือลอยบนผิวหน้าดิน อาจแบ่งออกได้ตามลักษณะและชนิดของหิน

สภาพการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ข้อมูลการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวบรวมจากข้อมูลการใช้ที่ดินระดับจังหวัด ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม บุรีรัมย์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อุตรดิตถ์ และอุบลราชธานี (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2565) จังหวัดกาฬสินธุ์ นครราชสีมา ยโสธร หนองคาย มุกดาหาร อำนาจเจริญ หนองบัวลำภู และบึงกาฬ (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2566) พบว่ามีพื้นที่เกษตรกรรม กว้ร้อยละ 70 โดยส่วนใหญ่เป็นนาข้าว รองลงมาเป็นพืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน (ตารางที่ 10 และภาพที่ 5)

ตารางที่ 10 ประเภทการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A	พื้นที่เกษตรกรรม	74,059,493	70.651
A0	เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	45,515	0.043
A1	พื้นที่นา	39,316,631	37.507
A2	พืชไร่	20,806,705	19.849
A3	ไม้ยืนต้น	9,856,128	9.403
A4	ไม้ผล	652,620	0.623
A5	พืชสวน	116,636	0.111
A6	ไร่มวนเวียน	550	0.001
A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	3,086,009	2.944
A8	พืชน้ำ	853	0.001
A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	177,846	0.170
U	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	6,310,261	6.020
F	พื้นที่ป่าไม้	15,834,075	15.105
M	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	4,458,244	4.253
W	พืชน้ำ	4,162,327	3.971
	รวม	104,824,400	100.000



ภาพที่ 5 แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ที่มา: ดัดแปลงจากกลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน (2565; 2566)

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากฐานข้อมูลทรัพยากรดินของกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2562) พบว่า ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แจกกระจายในพื้นที่ 9 จังหวัด มีเนื้อที่รวม 2,258,959 ไร่ พบมากที่สุด ในจังหวัดนครราชสีมา รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่น ร้อยเอ็ด และมหาสารคาม ซึ่งเป็นพื้นที่ในแอ่งโคราช มีด้วยกัน 5 ชุดดิน เรียงตามลำดับเนื้อที่มากไปหาน้อย ดังนี้ ชุดดินกุลาร์องไห้ (Ki) ชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์ (Tsr) ชุดดินประทาย (Pt) ชุดดินขามทะเลสอ (Kts) และชุดดินอุดร (Ud) นอกจากนี้ยังพบดินที่มีลักษณะไม่เข้าเกณฑ์การจำแนกเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามระบบอนุกรมวิธานดิน แต่เกี่ยวข้องกับการสะสมเกลือเนื่องจากพบคราบเกลือบนผิวดิน จึงนำลักษณะดังกล่าวมาจำแนกในระดับประเภทดิน (soil phase) เรียงตามลำดับเนื้อที่มากไปหาน้อย ดังนี้ ชุดดินหนองบุญมากที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nbn/sa) ชุดดินร้อยเอ็ดที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Re/sa) ชุดดินอุบลที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Ub/sa) ชุดดินหนองกุ้งที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nkg/sa) ชุดดินโนนแดงที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Ndg/sa) ชุดดินโนนไทยที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nt/sa) และชุดดินท่าตูมที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Tt/sa) มีเนื้อที่รวม 210,932 ไร่ รวมดินทั้งสองประเภทมีเนื้อที่ 2,469,891 ไร่ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและดินที่มีคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับ	จังหวัด	หน่วยแผนที่	เนื้อที่ (ไร่)
1	กาฬสินธุ์	Ki, Pt, Tsr, Nbn/sa, Ndg/sa, Re/sa	18,418
2	ขอนแก่น	Ki, Pt, Tsr, Re/sa, Ub/sa	374,509
3	ชัยภูมิ	Ki, Tsr	44,071
4	นครราชสีมา	Ki, Pt, Kts, Tsr, Nbn/sa, Ndg/sa, Nkg/sa, Nt/sa	1,409,878
5	บุรีรัมย์	Ki, Pt, Ub/sa	21,716
6	มหาสารคาม	Ki, Pt, Tsr, Tt/sa	187,814
7	ร้อยเอ็ด	Ki, Pt	248,789
8	สุรินทร์	Ki, Pt	99,585
9	อุดรธานี	Ud, Nbn/sa, Re/sa	53,551
10	สกลนคร	Re/sa	3,217
11	หนองคาย	Nbn/sa	8,343
รวม			2,469,891

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แหล่งเกลือมาจากการละลายของเกลือหิน หรือน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มาก มีความสัมพันธ์กับชั้นเกลือหินในหมวดหินมหาสารคามที่รองรับ อยู่ข้างล่าง (Wongsomsak, 1986) เมื่อหินสลายตัวผุพังแล้วปลดปล่อยเกลืออิสระ (free salt portion) ออกมา (Sinanuwong and Takaya, 1974) สมศรี (2542) พบว่าในพื้นที่เดียวกันดินมีความเค็มไม่สม่ำเสมอ แตกต่างกันระหว่างชั้นดินและเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เกลือเคลื่อนที่ขึ้นมาสะสมในชั้นดินบนช่วงฤดูแล้ง แต่จะถูกชะกลับไปสะสมที่ชั้นดินล่าง ทำให้ดินมีความเค็มลดลงช่วงฤดูฝน

การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

คราบเกลือบนผิวดิน (salt crust หรือ salt pan หรือ saline crust) คือคราบวัตถุที่เกิดจากการ สะสมเกลือบนผิวดิน มักพบในพื้นที่ต่ำและที่ราบที่มีระดับน้ำใต้ดินตื้น ในพื้นที่ที่มีอัตราปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่อ การระเหยของน้ำ (precipitation to evapotranspiration ratio) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75 การสะสม คราบเกลือบนผิวดินเป็นผลมาจากน้ำซึมเค็ม (saline seepage) ที่ไหลลงมาจากพื้นที่สูงกว่า และเคลื่อนที่ จากบริเวณที่เปียกไปบริเวณที่แห้ง น้ำเค็มใต้ดินเคลื่อนที่มาสะสมใกล้ผิวดินและบนผิวดินด้วยแรงดึงน้ำใน ช่องว่างของดินหรือการเคลื่อนขึ้นแคพิลลารี (capillary rise) ความเข้มข้นของเกลือจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อ อัตราการระเหยเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำที่ผิวดินระเหยไป เกลือจะตกตะกอน (precipitation) และ/หรือ ตกผลึก (crystallization) ซึ่งหากการสะสมเกลือบนผิวดินเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง คราบเกลือจะหนาขึ้นเรื่อย ๆ มีลักษณะเป็นแผ่นปิดผิวดิน ซึ่งลักษณะของผิวดินและอัตราการระเหยของน้ำมีผลต่อสัญญาณของ คราบเกลือบนผิวดินและขนาดผลึกของเกลือ (Brady and Weil, 2008; Sheng *et al.*, 2016) คราบเกลือบน ผิวดินที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีหลายลักษณะ เช่น เป็นผลึกสีขาว ผงสีขาวปนกับขุยสีน้ำตาล ขุยสี น้ำตาลแดง คราบเกลือบนผิวดินเป็นลักษณะที่สามารถสังเกตด้วยสายตาและตรวจสอบได้ในพื้นที่ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 สภาพพื้นที่และลักษณะของคราบเกลือบนผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พิชัย (2539) ศึกษาและแบ่งลักษณะการแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินและสภาพพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็น 7 ระดับ และกำหนดเกณฑ์การพิจารณาพื้นที่ ดังนี้

ระดับ 1 บริเวณที่ลุ่มที่มีคราบเกลือบนผิวดินมาก พบคราบเกลืออยู่ทั่วไปบนผิวดิน มากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ ส่วนใหญ่จะเป็นที่ว่างเปล่า พืชที่พบเป็นไม้ทรงพุ่มมีหนาม เช่น หนามแดง หนามพรม หนามปีน้ำใต้ดินในบริเวณนี้เค็มจัดและอยู่ในระดับตื้นมาก (1-1.5 เมตรจากผิวดิน ในฤดูแล้ง)

ระดับ 2 บริเวณที่ลุ่มที่มีคราบเกลือบนผิวดินปานกลาง พบคราบเกลือบนผิวดินเป็นหย่อม ๆ ร้อยละ 10-50 ของพื้นที่ อาจพบเป็นแนวแคบ ๆ รอบชายเนิน ส่วนใหญ่ปลูกข้าว แต่ให้ผลผลิตต่ำมาก พืชพรรณธรรมชาติ ได้แก่ สะแก ตาล และต้นไม้น้ำเค็มบางชนิด น้ำใต้ดินเป็นน้ำเค็มและอยู่ในระดับค่อนข้างตื้น (2 เมตรจากผิวดิน ในฤดูแล้ง)

ระดับ 3 บริเวณที่ลุ่มที่มีคราบเกลือบนผิวดินน้อย พบคราบเกลือบนผิวดิน ร้อยละ 1-10 ของพื้นที่ โดยทั่วไปปลูกข้าว พืชพรรณธรรมชาติเป็นพวกไม้เต็งรัง เหียง สะแบง และสะแก น้ำใต้ดินเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำที่ไม่เค็มจัดอยู่ลึก (มากกว่า 2 เมตรจากผิวดิน ในฤดูแล้ง) ดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย

ระดับ 4 บริเวณที่ลุ่มที่มีคราบเกลือบนผิวดินน้อยมาก ไม่พบคราบเกลือบนผิวดินหรือพบคราบเกลือบนผิวดิน น้อยกว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่ น้ำใต้ดินเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำเค็มที่อยู่ลึกมากกว่า 2 เมตรจากผิวดิน บริเวณนี้ดินไม่เป็นดินเค็ม แต่มีโอกาสที่จะพัฒนาเป็นดินเค็มได้ถ้าระดับน้ำใต้ดินยกตัวสูงขึ้น โดยทั่วไปใช้ปลูกข้าวและมีต้นไม้อายุหลายชนิดขึ้นปะปนอยู่

ระดับ 5 บริเวณที่ตอนที่ยังรับด้วยเกลือหิน ได้แก่ เนินที่สูง ซึ่งปลูกพืชไร่ทั่วไป ไม่พบคราบเกลือบนผิวดิน ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกมาก อาจเป็นน้ำจืด น้ำกร่อยหรือน้ำเค็มก็ได้ แต่ในเขตที่มีหมวดหินมหาสารคามรองรับอยู่ข้างล่างเช่นเดียวกับพื้นที่ในระดับ 1-4 หากหินที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบปลดปล่อยเกลือออกมาและ/หรือสมดุลของน้ำธรรมชาติเสียไปจะเกิดน้ำซึมเค็ม และเกิดดินเค็มในบริเวณส่วนที่ต่ำกว่าได้

ระดับ 6 บริเวณที่ไม่ได้รองรับด้วยเกลือหิน พื้นที่ลุ่มและตอนที่อยู่นอกเขตหมวดหินมหาสารคาม ไม่พบคราบเกลือ และน้ำใต้ดินเป็นน้ำจืด

ระดับ 7 บริเวณพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน มีความลาดชันมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 35 มีความสูงมากกว่า 200 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง และอยู่นอกเขตหมวดหินมหาสารคาม

จากข้อมูลดังกล่าวนี้ พื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือคือพื้นที่ระดับ 1-3 แนวความคิดนี้ นำมาสู่การจัดทำแผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยข้อมูลล่าสุด จัดทำเป็นแผนที่ มาตรฐาน 1:25,000 เผยแพร่ในปี 2560 ซึ่งพบการแพร่กระจายคราบเกลือบนผิวดิน ระดับ 1-3 เนื้อที่รวม 4,090,669 ไร่ พบมากที่สุดที่สุดในจังหวัดนครราชสีมา รองมาคือ จังหวัดขอนแก่น ร้อยเอ็ด และมหาสารคาม (ตารางที่ 12 และภาพที่ 7)

การศึกษาความสัมพันธ์ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือกับคราบเกลือบนผิวดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พรชัย และคณะ (2567) พบว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือจังหวัดนครราชสีมาส่วนใหญ่พบคราบเกลือบนผิวดิน แต่บางบริเวณก็ไม่มีคราบเกลือบนผิวดิน วรัมย์พร (2568) พบว่าในพื้นที่ตำบลเมืองเพีย อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น บริเวณที่พบคราบเกลือบนผิวดินมากกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ ดินมีแนวโน้มอยู่ในระดับเค็มปานกลางถึงเค็มจัด สอดคล้องกับการศึกษาของนฤมล (2562) ที่สรุปได้ว่าการพบคราบเกลือบนผิวดินใช้พิจารณาดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้ แต่ไม่สามารถใช้จำแนกชุดดินที่เป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้

ตารางที่ 12 การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2560 รายจังหวัด

จังหวัด	เนื้อที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน (ไร่)								รวม
	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	รวมระดับ 1-3	ระดับ 4	ระดับ 5	ระดับ 6	พื้นที่อื่นๆ	
1 กาฬสินธุ์	422	583	152,015	153,020	688,066	339,211	2,666,010	495,409	4,341,716
2 ขอนแก่น	5,681	28,294	434,104	468,079	1,360,783	1,240,603	2,872,506	861,773	6,803,744
3 ชัยภูมิ	10,463	22,014	228,223	260,700	395,057	715,349	4,630,961	1,984,362	7,986,429
4 นครพนม	34	202	15,699	15,935	1,374,574	1,312,878	523,343	218,688	3,445,418
5 นครราชสีมา	41,657	99,601	1,459,196	1,600,454	2,128,987	3,254,185	4,648,051	1,177,050	12,808,727
6 บึงกาฬ	562	484	648	1,694	1,329,319	1,119,559	20,575	219,944	2,691,091
7 บุรีรัมย์	164	1,601	128,312	130,077	1,809,143	2,324,954	2,003,823	183,181	6,451,178
8 มหาสารคาม	938	7,205	307,240	315,383	1,563,450	1,198,420	21,635	208,414	3,307,302
9 มุกดาหาร	-	-	-	-	-	-	2,210,400	501,994	2,712,394
10 ยโสธร	135	135	47,322	47,592	998,682	483,494	901,667	169,605	2,601,040
11 ร้อยเอ็ด	176	3,889	342,815	346,880	2,746,813	640,970	1,070,419	382,074	5,187,156
12 เลย	-	-	-	-	-	-	3,651,760	3,488,622	7,140,382
13 ศรีสะเกษ	106	0	16,372	16,478	2,987,637	418,353	1,664,607	437,909	5,524,984
14 สกลนคร	6,833	750	61,064	68,647	2,212,638	1,742,994	1,172,484	806,839	6,003,602
15 สุรินทร์	128	410	112,007	112,545	2,110,286	1,060,870	1,689,854	103,980	5,077,535
16 หนองคาย	227	508	19,552	20,287	869,679	643,556	143,874	214,188	1,891,584
17 หนองบัวลำภู	-	-	-	-	-	-	2,145,854	266,075	2,411,929
18 อำนาจเจริญ	22	952	62,885	63,859	137,772	430,936	1,222,067	121,146	1,975,780
19 อุตรดิตถ์	6,367	5,003	218,450	229,820	1,525,026	2,138,014	2,670,135	768,444	7,331,439
20 อุบลราชธานี	179	4,461	234,579	239,219	1,289,328	1,590,919	5,883,409	837,656	9,840,531
รวม	74,094	176,092	3,840,483	4,090,669	25,527,240	20,655,265	41,813,434	13,447,353	105,533,961

เนื้อที่จังหวัดอ้างอิงจากกรมการปกครอง ปี 2556

ระดับ 1 หมายถึง บริเวณที่ลุ่ม ที่พบคราบเกลือบนผิวดิน มากกว่าร้อยละ 50

ระดับ 2 หมายถึง บริเวณที่ลุ่ม ที่พบคราบเกลือบนผิวดิน ร้อยละ 10-50

ระดับ 3 หมายถึง บริเวณที่ลุ่ม ที่พบคราบเกลือบนผิวดิน ร้อยละ 1-10

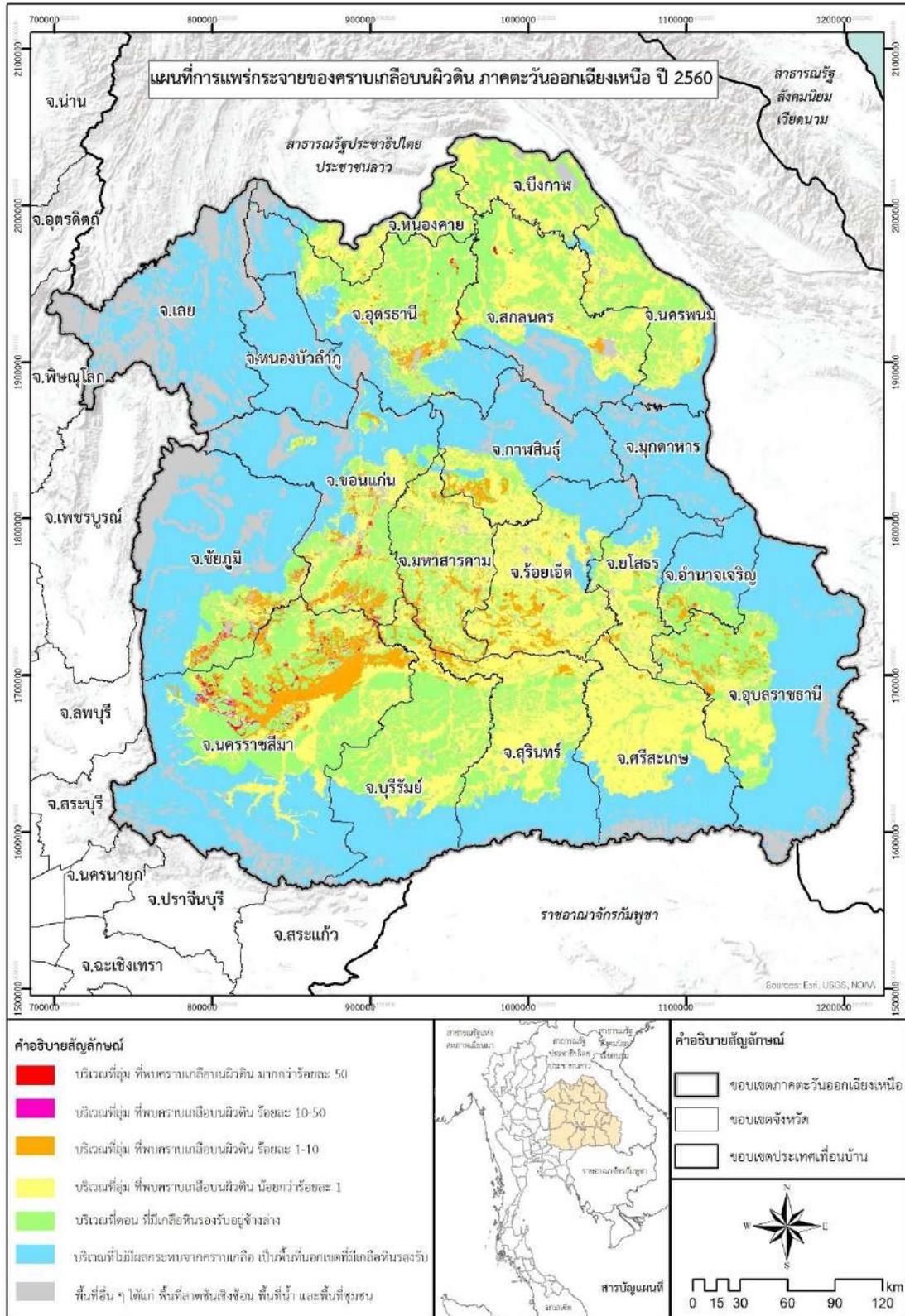
ระดับ 4 หมายถึง บริเวณที่ลุ่ม ที่พบคราบเกลือบนผิวดิน น้อยกว่าร้อยละ 1

ระดับ 5 หมายถึง บริเวณที่ดอน ที่มีเกลือหินรองรับอยู่ข้างล่าง

ระดับ 6 หมายถึง บริเวณที่ไม่มีผลกระทบจากคราบเกลือ เป็นพื้นที่นอกเขตที่มีเกลือหินรองรับ

พื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน พื้นที่น้ำ และพื้นที่ชุมชน

ที่มา: กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2560)



ภาพที่ 7 แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2560
ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจากกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2560)

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

- 1) ข้อมูลทางสารสนเทศต่างๆ เช่น แผนที่ดิน แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่สภาพภูมิประเทศ แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ภาพถ่ายออร์โธรี ภาพถ่ายดาวเทียม และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เอกสารวิชาการ งานวิจัย
- 2) ข้อมูลดินที่มีผลวิเคราะห์สมบัติดินจากเอกสารวิชาการและงานวิจัย
- 3) อุปกรณ์สำรวจดิน ได้แก่ เครื่องมือวัดค่าพิกัด เครื่องมือวัดค่าความสูง เครื่องมือวัดความลาดชันของพื้นที่ เครื่องมือวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดิน กล้องถ่ายรูป สมุดเทียบสี เข็มทิศ แวนขยาย เทปวัดระยะ ส่วนเจาะดิน พลั่ว มีด ค้อนยาง และปากกา
- 4) คอมพิวเตอร์และโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ โปรแกรม R Studio, SAGA GIS และ ArcGIS

วิธีการ

การประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (ภาพที่ 8) ดังนี้

1) รวบรวมและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

1.1) การศึกษาและจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น เป็นการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ดำเนินงาน ทั้งข้อมูลปฐมภูมิหรือข้อมูลทุติยภูมิ ที่อยู่ในรูปของรายงานและแผนที่หรืออยู่ในรูปดิจิทัล ได้แก่ ข้อมูลทางสารสนเทศต่างๆ เช่น แผนที่ดิน แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่สภาพภูมิประเทศ แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน และข้อมูลการสำรวจระยะไกล ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 9 OLI และ NASA SRTM Digital Elevation

1.2) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ การแจกกระจายของชุดดินที่จัดเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือ การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินระดับต่าง ๆ การใช้ที่ดิน คัดเลือกพื้นที่ดินตัวแทนเพื่อเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม สัณฐานวิทยา และตัวอย่างดิน ให้ครอบคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และวางแผนการดำเนินงานภาคสนาม



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการศึกษา

2) ศึกษาและเก็บข้อมูลดินจากพื้นที่และวิเคราะห์สมบัติดิน

2.1) ตรวจสอบและบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อม สภาพพื้นที่ และสัณฐานวิทยาของดินตามตำแหน่งที่กำหนด และเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติดิน โดยวิธีมาตรฐานของ Soil Survey Manual (USDA, 2017)

2.2) วิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ การนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น วัดค่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (EC_e) โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ โซเดียมที่ละลายน้ำได้ แคลเซียมที่ละลายน้ำได้ และแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ คำนวณหาค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP)

2.3) รวบรวมข้อมูลดินที่มีค่าวิเคราะห์สมบัติดิน

3) สร้างแผนที่ดิจิทัลด้วยเทคนิคสารสนเทศภูมิศาสตร์ สร้างแผนที่ดินดิจิทัล จำนวน 3 แผนที่ ได้แก่ แผนที่ระดับความเค็มของดิน (salinity) จากค่าอีซีอี แผนที่ระดับโซดิกในดิน (sodicity) จากค่าอีเอสพี และประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือจากค่าอีซีอีและอีเอสพี ที่ 3 ระดับความลึกของดิน ได้แก่ 0-25 เซนติเมตร 25-50 เซนติเมตร 50-100 เซนติเมตร

3.1) จัดทำชุดข้อมูล (data set) ของค่าอีซีอีและอีเอสพีและนำเข้าข้อมูล จัดเตรียมข้อมูลตัวแปรพร้อม (predicted variables) ที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 13) ประกอบด้วยแผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน แผนที่ดิน แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) ความละเอียด 30 เมตร นำมาวิเคราะห์พื้นผิวของภูมิประเทศ (terrain analysis) ด้วยโปรแกรม SAGA GIS ได้แก่ slope, aspect, channel network base level (cnbl), channel network distance (cnd), convergence index (conv), analytical hillshading (hillshade), ls-factor, plan curvature, relative slope position (rsp), catchment area (tca), topographic wetness index (twi) และ valley depth ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (remote sensing) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 9 OLI ความละเอียด 30 เมตร จำนวน 6 band นำมาคำนวณค่าสะท้อนพื้นผิวจากสมการ ทำการแบ่งชุดข้อมูลเป็น 2 ชุด ประกอบด้วยชุดข้อมูลสำหรับการฝึก (train data) และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (test data) ในอัตราส่วน 80:20

ตัวแปรพร้อมที่ในงานวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ ตัวแปรด้านภูมิประเทศ แลบลึกลงสเปกตรัมจากดาวเทียม และดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

(1) ตัวแปรด้านภูมิประเทศ (terrain attributes)

ตัวแปรเหล่านี้ได้มาจากการประมวลผล และใช้อธิบายลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ซึ่งส่งผลต่อการไหลของน้ำและการสะสมของเกลือ

- dem (digital elevation model): ค่าระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลในแต่ละจุด ถือเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดในการควบคุมการสะสมของเกลือในพื้นที่ราบลุ่ม

ตารางที่ 13 ตัวแปรร่วมจากข้อมูลสภาพแวดล้อมและข้อมูลการสำรวจระยะไกล

	ชนิดข้อมูล	ความละเอียด	ดัชนีข้อมูล	แหล่งข้อมูล
1	แผนที่ดิน	1:25,000	soil	กองสำรวจดินและวิจัย ทรัพยากรดิน (2562)
2	แผนที่การแพร่กระจาย ของคราบเกลือบนผิวดิน	1:25,000	salt	กองสำรวจดินและวิจัย ทรัพยากรดิน (2560)
3	แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน	1:25,000	LU	กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ ที่ดิน (2565) และ (2566)
4	แผนที่ธรณีวิทยา	1:250,000	geo	กรมทรัพยากรธรณี (2550)
5	Topography	30 เมตร	dem, slope, aspect, cnbl, cnd, conv, hillshade, lsfactor, plancurve, procurve, rsp, tca, twi, valley	SRTM NASA (2022)
6	Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2	30 เมตร	B1, B2, B3, B4, B6, B7	Landsat 9 OLI USGS (2022)
7	Salinity index	30 เมตร	SI1-6, VSSI, NDSI, SR, ASTER_SI	Gorji et al. (2019); Gerardo and de Lima (2022)
8	Soil index	30 เมตร	SAVI, BI	
9	vegetation index	30 เมตร	NDVI, NDWI, NDMI	

- slope: ความชันหรือความลาดเอียงของพื้นที่ วัดเป็นองศาหรือเปอร์เซ็นต์ พื้นที่ที่มีความชันสูงน้ำจะไหลผ่านเร็ว ไม่เกิดการสะสมเกลือ
- aspect: ทิศทางความลาดชันหรือทิศที่พื้นที่หันไป มีผลต่อปริมาณแสงแดดที่ได้รับและการระเหยของน้ำ
- hillshade: ภาพจำลองแสงเงา 3 มิติ เพื่อให้เห็นลักษณะภูมิประเทศได้ชัดเจนขึ้น มักใช้รวมกับการวิเคราะห์สายตา
- rsp, valley: ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำและลักษณะหุบเขา (อาจเป็น Stream Power Index หรือ Valley depth ขึ้นอยู่กับซอฟต์แวร์ที่ใช้สร้าง)

(2) แถบคลื่นสเปกตรัมและดัชนีจากระยะไกล (remote sensing)

ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินคุณสมบัติดินและพืชพรรณ

แถบคลื่น (Bands)

- B1, B2, B3, B4, B6, B7: แถบคลื่นเฉพาะช่วงความยาวคลื่นจากดาวเทียม (เช่น Landsat หรือ ASTER)
- B1-B4: Visible (Blue, Green, Red) และ Near-Infrared (NIR) ใช้สร้างดัชนีพืชพรรณและระบุความเค็ม
- B6, B7: Shortwave Infrared (SWIR) มีประโยชน์ในการตรวจจับความชื้นในดินและการสะสมเกลือ

ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices)

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): ดัชนีมาตรฐานที่ใช้วัดความหนาแน่นและความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ค่าต่ำมาก (เข้าใกล้ 0 หรือติดลบ) บ่งบอกถึงผิวดินไม่มีสิ่งปกคลุมหรือน้ำ ซึ่งมักสัมพันธ์กับดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index): ดัชนี NDVI ที่ปรับแก้ผลกระทบจากความสว่างของผิวดินไม่มีสิ่งปกคลุมเหมาะกับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมน้อย
- BI (Brightness Index): ดัชนีความสว่างของดิน ซึ่งดินที่มีผลกระทบจากเกลือ มักจะมีความสว่างสูงกว่าดินปกติ

ดัชนีความชื้นและเกลือ (Moisture and Salinity Indices)

- NDWI (Normalized Difference Water Index) และ NDMI (Normalized Difference Moisture Index): ใช้ประเมินปริมาณน้ำหรือความชื้นในพืชและดิน

- SI1-6 (Salinity Index 1-6), VSSI (Vegetation Soil Salinity Index), NDSI (Normalized Difference Salinity Index), SR (Simple Ratio), ASTER_SI (ASTER Salinity Index): สูตรทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แถบคลื่นต่าง ๆ มาคำนวณ เพื่อเพิ่มความชัดเจนในการระบุตำแหน่งและระดับความเค็มของดินโดยตรง
- twi (topographic wetness index): ดัชนีความเปียกชื้นภูมิประเทศ คำนวณ จากพื้นที่รับน้ำด้านบนและ slope ใช้ทำนายบริเวณที่มีแนวโน้มชื้นและหรือมีการสะสมน้ำ
- tca (total catchment area): พื้นที่รับน้ำสะสมทั้งหมดที่ไหลมารวม ณ จุดนั้น ๆ
- lsfactor (length-slope factor): ปัจจัยความยาวและความชันของพื้นที่ บริเวณที่มีค่านี้สูงบ่งชี้ถึงศักยภาพการชะล้างพังทลายสูง
- plancurve (plan curvature) ความโค้งตามแนวราบ มีผลต่อการไหลลู่เข้า (เว้า) หรือไหลออกจากพื้นที่ (นูน) และ procurve (profile curvature): ดัชนีความโค้งของพื้นผิว ความโค้งตามแนวลาด มีผลต่อความเร็วการไหลของน้ำ
- conv, cnbl, cnd (convergence indices): ดัชนีการบรรจบกันของการไหลของน้ำ

3.2) ประมาณค่าเชิงพื้นที่ของค่าไอซีอีและอีเอสพีด้วยเทคนิคการใช้แบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิง (machine learning) โดยใช้อัลกอริทึมแบบ XGBoost โดยใช้โปรแกรม R studio (R Core Team, 2022) แล้วคัดเลือกแผนที่ระดับความเค็มของดินและระดับโซดิกในดินจากแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากค่าสถิติ ได้แก่ MAE RMSE และ NSE

3.3) จัดทำแผนที่ความเค็มและโซดิกของดิน และประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

นำข้อมูลจากแผนที่มาแปลความหมายระดับความเค็มของดินและโซดิกของดิน เพื่อประเมินผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช จำแนกระดับความเค็มของดิน จากค่าไอซีอี แบ่งเป็น 6 ระดับ 0-2, 2-4, 4-8, 8-16, มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกในดิน จากค่าอีเอสพี แบ่งเป็น 5 ระดับ น้อยกว่า 15, 15-30, 30-50, 50-70, มากกว่า 70

จัดกลุ่มข้อมูลดิน จากการหาความสัมพันธ์ของระดับความเค็มของดินและระดับโซดิกในดิน

- ดินที่มีค่าไอซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอีเอสพี น้อยกว่า 15 เป็นดินเค็ม
- ดินที่มีค่าไอซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอีเอสพี มากกว่า 15 เป็นดินเค็มโซดิก
- ดินที่มีค่าไอซีอี น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอีเอสพี มากกว่า 15 เป็นดินโซดิก
- ดินที่มีค่าไอซีอี น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอีเอสพี น้อยกว่า 15 เป็นดินอื่น ๆ หมายถึง ดินที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

- 4) ประเมินระดับความรุนแรงของความเค็มและโซเดียมของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช
จัดทำขอบเขตพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ และประเมินระดับความรุนแรงของความเค็มและ
โซเดียมในดินของแต่ละบริเวณ เพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

- 5) จัดทำคำแนะนำในการจัดการดินตามสภาพความรุนแรง
พิจารณาแนวทางในการจัดการดินตามความรุนแรงของความเค็มและโซเดียมเชิงพื้นที่
เพื่อประกอบการตัดสินใจวางแผนการเพาะปลูก

- 6) สรุปผลและทำรายงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 5

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การนำเข้าชุดข้อมูล

1) ข้อมูลดิน

ศึกษาลักษณะดินในจังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น นครราชสีมา นครพนม ชัยภูมิ บึงกาฬ บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ หนองคาย อำนาจเจริญ อุตรธานี และอุบลราชธานี และวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าซีอี ค่าโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน มาคำนวณหาค่าไอเอสพี จำนวน 85 จุด 550 ตัวอย่าง และจากการรวบรวมเอกสารวิชาการที่มีข้อมูลสมบัติดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีกจำนวน 167 จุด รวมทั้งสิ้น 252 จุด 1,528 ตัวอย่าง มาจัดทำเป็นชุดข้อมูลพร้อมข้อมูลโดยการตัดข้อมูลที่ไม่ว่าจำเป็น (data cleansing) และแก้ไขข้อมูลที่หายไป (missing data) (ตารางที่ 14) ลักษณะของตัวอย่างดินพบว่า ค่าซีอี จากตัวอย่างดิน จำนวน 1,528 มีค่าสูงสุดที่ 75.8 ต่ำสุดที่ 0.1 ค่าเฉลี่ย 3.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.76 ค่าไอเอสพี จากจำนวนตัวอย่างดิน 1,339 มีค่าสูงสุดที่ 99.1 ต่ำสุดที่ 0.0 ค่าเฉลี่ย 29.8 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 25.67 เมื่อจำแนกประเภทดินโดยพิจารณาค่าซีอีและไอเอสพี พบว่า เป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ร้อยละ 91.93 โดยเป็นดินโซดิก ร้อยละ 47.57 และดินเค็มโซดิก ร้อยละ 14.36

ตารางที่ 14 ค่าสถิติเชิงพรรณนาค่าซีอีและไอเอสพี

ค่าสถิติ	ข้อมูล	
	ซีอี	ไอเอสพี
จำนวนตัวอย่าง (count)	1,528 ตัวอย่าง	1,339 ตัวอย่าง
ค่าสูงสุด (maximum value)	75.8 dS m ⁻¹	99.1
ค่าต่ำสุด (minimum value)	0.1 dS m ⁻¹	0.0
ค่าเฉลี่ย (average)	3.1 dS m ⁻¹	29.8
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)	5.76	25.67

2) ข้อมูลตัวแปรร่วม (predicted variables)

การศึกษาและจัดทำข้อมูลเกี่ยวข้องกับปัจจัยการกำเนิดดิน ตัวแปรร่วมที่ต้องนำเข้าประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ส่งผลต่อการสะสมเกลือในดิน

- ข้อมูลภูมิประเทศ (topography) เช่น แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ความละเอียด 30 เมตร นำมาวิเคราะห์พื้นผิวของภูมิประเทศ (terrain analysis) ด้วยโปรแกรม SAGA (QGIS Development Team (2022) ได้แก่ slope aspect channel network base level (cnbl), channel network distance (cnd),

convergence index (conv), analytical hillshading (hillshade), ls-factor plan curvature relative slope position (rsp), catchment area (tca), topographic wetness index (twi) และ valley depth

- ข้อมูลจากดาวเทียม (remote sensing) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 9 OLI (operational land imager) ความละเอียด 30 เมตร จำนวน 6 band (USGS, 2022) นำมาคำนวณค่าสะท้อนพื้นผิวจากสมการ (Gorji et al., 2019; Gerardo and de Lima, 2022) เช่น ดัชนีพืชพรรณ (NDVI), ดัชนีความเค็ม (Salinity Indices เช่น SI, NDSI) และดัชนีความสว่าง (Brightness Index)

- ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (climate) เช่น ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย และอุณหภูมิ

- ข้อมูลธรณีวิทยาและระยะทาง เช่น ระยะทางจากแหล่งน้ำหรือชายฝั่ง

การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรกับตัวแปรร่วม (correlation analysis)

นำเข้าข้อมูลและหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าตัวแปร ได้แก่ ค่าไอซีอีและค่าไอเอสพี กับตัวแปรร่วมตามแนวทางของคู่มือทางเทคนิคสำหรับการจัดทำแผนที่ดินเค็มโลก (Global Map of Salt-Affected Soils - GSASmap) (Omuto et al., 2020) หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าไอซีอี และค่าไอเอสพีกับตัวแปรร่วมในตำแหน่งเดียวกัน โดยใช้สถิติเพียร์สัน (Pearson Correlation (r)) หาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง

- ระดับความสัมพันธ์: ค่า r ที่เข้าใกล้ 1 หรือ -1 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่ง (strong correlation) ซึ่งตัวแปรนั้นจะถูกเลือกมาเป็นตัวพยากรณ์หลักในการทำแผนที่

- การเลือกตัวแปร: ตัวแปรร่วมที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จะถูกนำไปใช้ในแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิงเพื่อทำนายไอซีอีและค่าไอเอสพีในพื้นที่ที่ไม่มีการเก็บตัวอย่าง ใช้ซอฟต์แวร์สถิติหรือภาษาโปรแกรม เช่น R (ใช้ฟังก์ชัน cor()) เพื่อสร้าง Matrix สหสัมพันธ์และคัดเลือกตัวแปรร่วมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดก่อนเริ่มกระบวนการแผนที่ดินแบบดิจิทัล ด้วยอัลกอริทึม XGBoost

1) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าไอซีอีกับตัวแปรร่วม

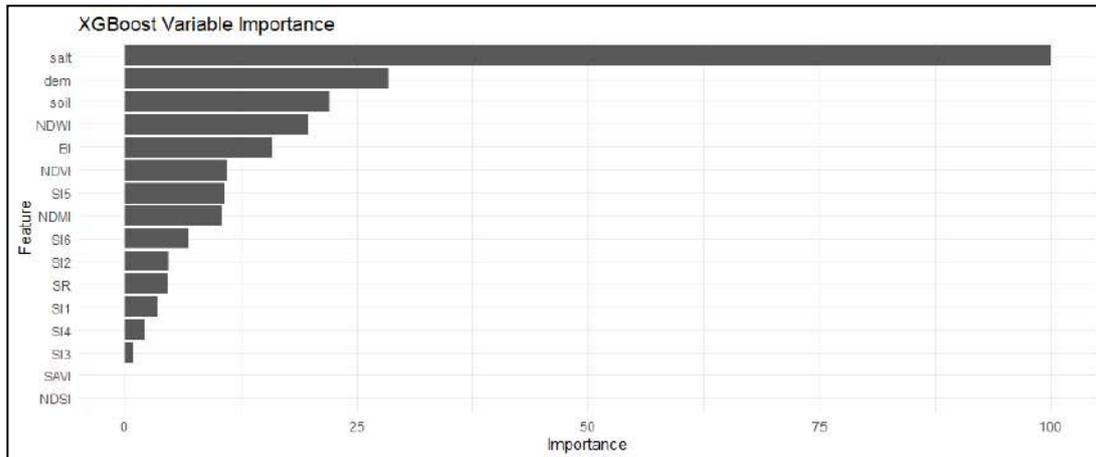
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อมใดบ้างที่ส่งอิทธิพลต่อค่าไอซีอี ผลการศึกษาแสดงเป็นกราฟแท่ง แกน Y แสดงถึงชื่อตัวแปรต่าง ๆ ส่วนแกน X แสดงถึงความสำคัญหรือ อิทธิพลของตัวแปรนั้น ๆ ต่อการทำนายค่าสมบัติดิน ยิ่งแถบยาวไปทางขวามากเท่าไร ตัวแปรนั้นยิ่งสำคัญมากเท่านั้น ตัวแปรที่อยู่ด้านบนสุดของแต่ละกราฟและมีแถบยาวที่สุดคือตัวขับเคลื่อนหลักในการกำหนดค่าไอซีอี (ภาพที่ 9)

- ดินทั้ง 3 ระดับความลึก มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าไอซีอีกับตัวแปรร่วมคล้ายคลึงกันคือ มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายคราบเกลือบนผิวดิน (salt) สูงที่สุด (ร้อยละ 100) รองลงมาเป็นแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ความสัมพันธ์ประมาณ ร้อยละ 30

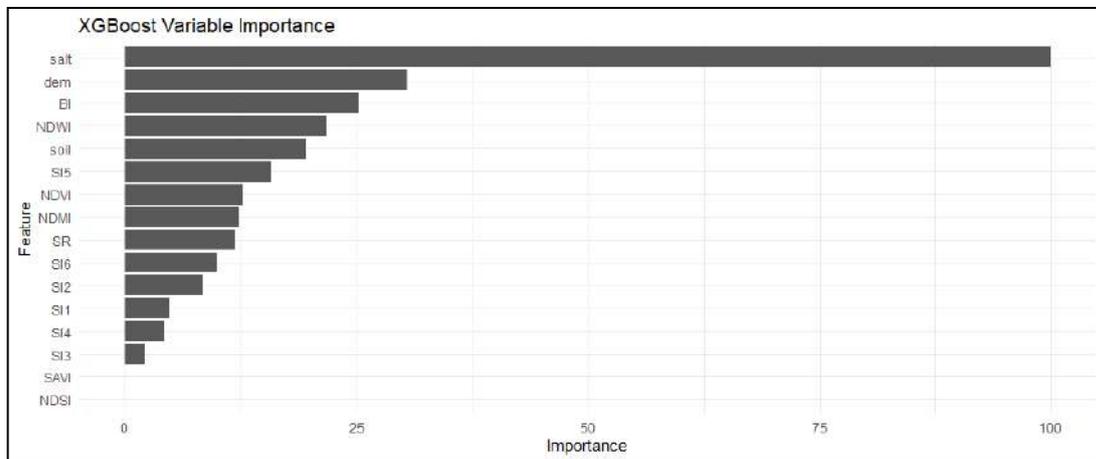
- ข้อมูลดิน (soil) Soil index (BI) vegetation index เช่น NDWI NDVI NDMI และ SI5 เป็นกลุ่มที่มีความสัมพันธ์รองลงมา โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 12-25 ยกเว้น NDMI ในดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร สหสัมพันธ์จะต่ำกว่าร้อยละ 12

- salinity index อื่นๆ อย่าง SI1 SI 2SI3 SI4 SI6 SR มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำกว่าร้อยละ 12

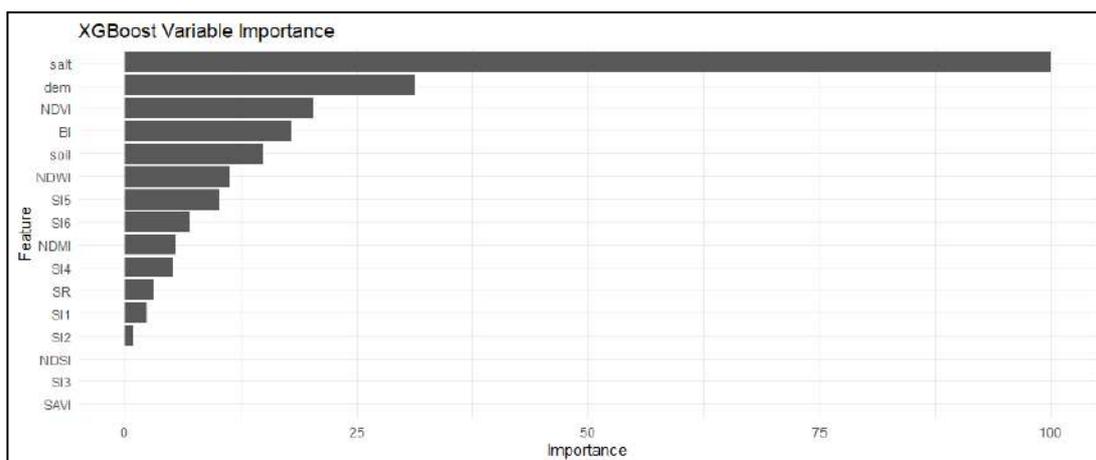
- ส่วน NDSI และ SAVI ไม่มีสหสัมพันธ์กับค่าไอซีอี



ดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร



ดินที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร



ดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร

ภาพที่ 9 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าซีอีกับตัวแปรร่วม

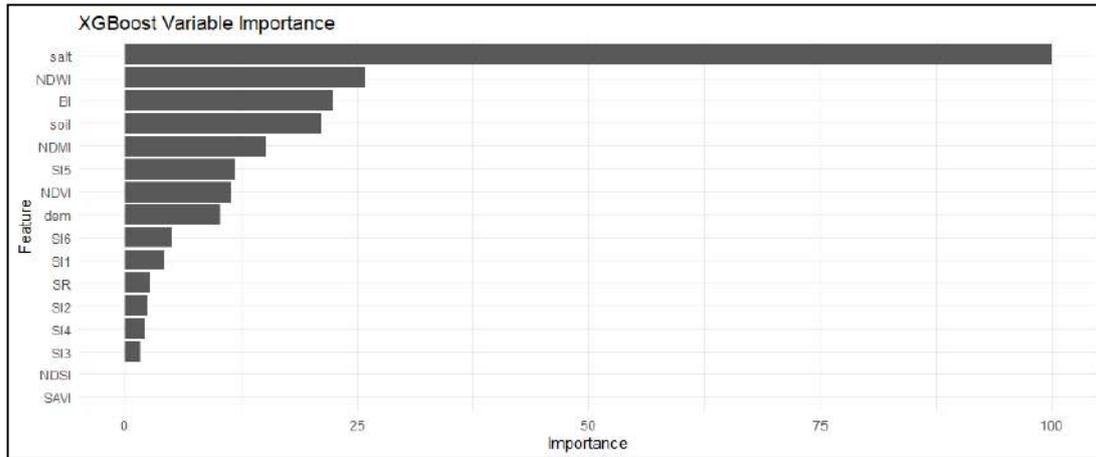
ตัวแปรหลักคือคราบเกลือบนผิวดิน (salt) และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (dem) การสะสมเกลือถูกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญโดยระดับความสูงและทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน พื้นที่ต่ำมักมีการสะสมเกลือมากกว่าพื้นที่สูงชัน ในดินล่าง 25-50 และ 50-100 เซนติเมตร เริ่มมีตัวแปรอื่นๆ แทรกเข้ามา แสดงว่าในชั้นนี้กระบวนการชะล้างหรือการสะสมเกลือเริ่มซับซ้อนขึ้น

2) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าไอเอสพีกับตัวแปรร่วม

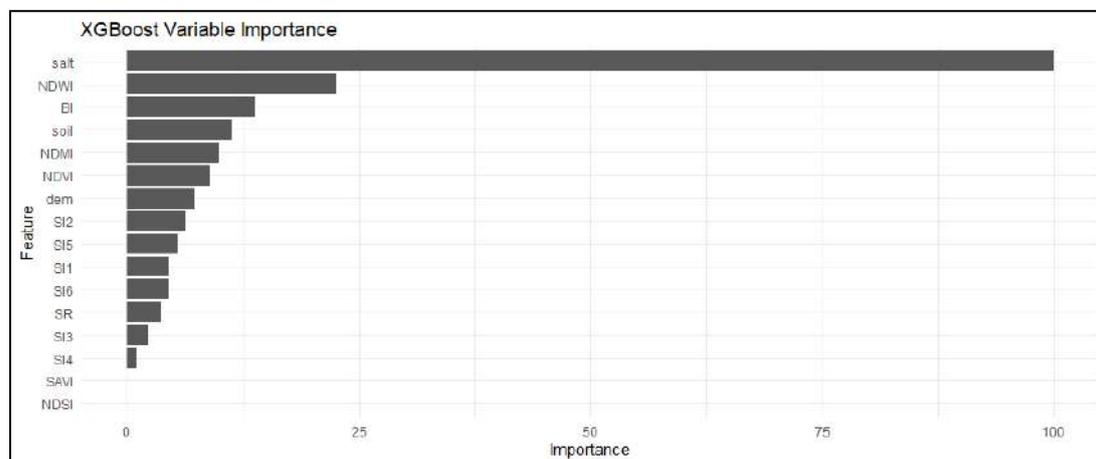
พิจารณาความสำคัญหรืออิทธิพลของตัวแปรต่อการทำนายค่าไอเอสพีเช่นเดียวกับค่าไอซีอี ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อมใดบ้างที่ส่งอิทธิพลต่อค่าไอเอสพีแสดงเป็นกราฟแท่ง ตามภาพที่ 10

- ดินทั้ง 3 ระดับความลึก มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าไอเอสพีกับตัวแปรร่วมคล้ายคลึงกัน คือมีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายคราบเกลือบนผิวดิน (salt) สูงที่สุด (ร้อยละ 100)
- NDWI เป็นตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รองลงมาในดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร และ 25-50 เซนติเมตร - ขณะที่ดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร มี DEM เป็นตัวแปรสำคัญรองลงมา
- กลุ่มตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รองลงมาคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 12-25 ในดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร เป็น BI soil NDMI ดินที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร เป็น BI และ ดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร เป็น NDVI BI soil
- ตัวแปรอื่นๆ มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ต่ำกว่าร้อยละ 12 ขณะที่ส่วน NDSI และ SAVI ไม่มีสหสัมพันธ์กับค่าไอเอสพี เช่นเดียวกับค่าไอซีอี

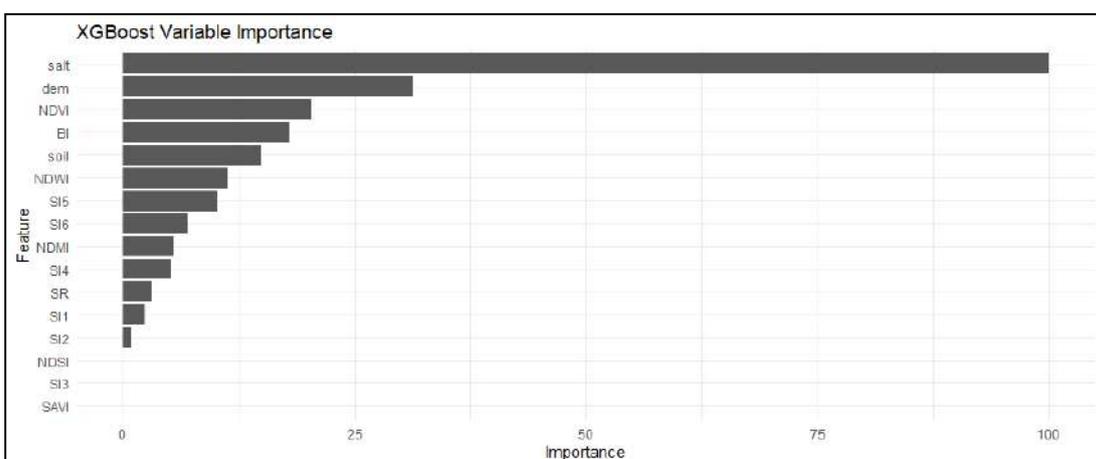
ตัวแปรหลักคือคราบเกลือบนผิวดิน (salt) NDWI BI และ soil การสะสมโซดิกเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ดินชั้นน้ำ และดิน ในช่วงบนของหน้าตัดดิน (0-25 และ 25-50 เซนติเมตร) ขณะที่ตอนล่างของหน้าตัดดิน (50-100 เซนติเมตร) แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (dem) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) มีบทบาทสำคัญมากขึ้น ค่าไอซีอีและไอเอสพีมีสหสัมพันธ์สูงมากกับการแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน มีความสัมพันธ์ชัดเจนกับ DEM soil BI NDWI NDMI NDVI นอกจากนี้ ยังพบว่า SI5 เป็นตัวแปรอีกตัวที่สัมพันธ์กับค่าไอซีอี



ดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร



ดินที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร



ดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร

ภาพที่ 10 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าไอเอสพีกับตัวแปรร่วม

การสร้างแบบจำลองค่าซีซีและอีเอสพี

ทำการแบ่งข้อมูลสมบัติดินที่ได้จากพื้นที่จริง เป็น 2 ชุดข้อมูล ประกอบด้วยชุดข้อมูลสำหรับการฝึก (train data) และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (test data) ในอัตราส่วน 80:20 ประมาณค่าเชิงพื้นที่ของค่าซีซีและอีเอสพีด้วยเทคนิคการสร้างแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิง โดยใช้อัลกอริทึมแบบ XGBoost ด้วยโปรแกรม R studio (R Core Team, 2022) และคัดเลือกแผนที่ค่าซีซีและอีเอสพีจากแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากค่าความถูกต้องตามหลักสถิติ ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และ Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)

1) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าซีซี

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Performance Evaluation) ในการทำนายค่าซีซีของดินที่ระดับความลึกต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลหรือชุดข้อมูลสำหรับการฝึก และชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ มีรายละเอียด (ตารางที่ 15) ดังนี้

ตารางที่ 15 ค่าสถิติประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าซีซี

ค่าซีซี	dataset	Bias	MAE	RMSE	NSE	R ²
ดินที่ระดับความลึก 0-25 cm	Training	-0.6016	0.6979	3.5455	0.5224	0.7615
	Testing	-0.3465	0.8090	3.0802	0.4352	0.4424
ดินที่ระดับความลึก 25-50 cm	Training	-0.2907	0.3477	1.6672	0.5777	0.7816
	Testing	-0.0674	0.3744	1.4897	0.0805	0.3437
ดินที่ระดับความลึก 50-100 cm	Training	-0.3508	0.4557	2.5149	0.2436	0.4228
	Testing	-0.4069	0.5434	2.1842	0.1294	0.1892

1.1) ค่าซีซีของดินที่ความลึก 0-25 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลสำหรับการฝึกและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีแนวโน้ม ประเมินค่าซีซีต่ำกว่าค่าจริง (underestimation) แต่ในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ ค่า Bias มีขนาดลดลง แสดงว่าโมเดลมีความเอนเอียงน้อยลงเมื่อใช้กับข้อมูลใหม่

- ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย Mean Absolute Error (MAE) ของชุด training data สูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเล็กน้อย ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายในข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้น แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ สะท้อนว่าแบบจำลองมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้จากชุดฝึกไปยังชุดทดสอบ (generalization ability) อยู่ในระดับพอใช้ (acceptable) แบบจำลองไม่ได้จดจำข้อมูลฝึกมากเกินไป ยังสามารถรักษาระดับความแม่นยำได้เมื่อทำนายกับข้อมูลใหม่

- ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย Root Mean Square Error (RMSE) ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าชุดข้อมูลสำหรับการฝึกเล็กน้อย บ่งชี้ว่าแบบจำลองไม่เกิด overfitting อย่างรุนแรง และความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large errors) ไม่เพิ่มขึ้นในชุดทดสอบ

- สามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำที่น่าพึงพอใจ แสดงว่าสามารถอธิบายความแปรปรวนของอิชีอีได้

- สามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล Coefficient of Determination (R^2) ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ดี (76%) ชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบลดลงเหลือ 44% แสดงถึงความสามารถในการอธิบายข้อมูลใหม่อยู่ในระดับปานกลางและอาจได้รับผลจากความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ของค่าความเค็มของดิน

แบบจำลองทำนายค่าอิชีอีในดิน ระดับความลึก 0–25 เซนติเมตร แสดงประสิทธิภาพในระดับปานกลาง โดยมีค่า NSE เท่ากับ 0.52 และ R^2 เท่ากับ 0.76 ในชุดข้อมูลฝึก และลดลงเป็น 0.44 และ 0.44 ตามลำดับในชุดข้อมูลทดสอบ สะท้อนถึงความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลใหม่ได้ในระดับพอใช้ ทั้งนี้ค่า Bias เป็นลบทั้งสองชุดข้อมูล แสดงว่าโมเดลมีแนวโน้มประเมินค่าความเค็มต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย

1.2) ค่าอิชีอีของดินที่ความลึก 25-50 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งสองชุดข้อมูลที่ใช้สอนและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบแสดงว่าโมเดลยังมีแนวโน้ม ประเมินค่าอิชีอีต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย โดยค่า Bias ในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก แสดงว่าความเอนเอียงเชิงระบบลดลง เมื่อใช้กับข้อมูลใหม่

- MAE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนเล็กน้อย (เพิ่มขึ้น 0.03) แสดงว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในระดับต่ำ สะท้อนว่าแบบจำลองไม่มี overfitting ด้านขนาดความผิดพลาดโดยรวม

- RMSE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลอง บ่งชี้ว่าแบบจำลองไม่เกิดความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large errors) เพิ่มขึ้นในข้อมูลใหม่และมีเสถียรภาพด้านการทำนายในช่วงค่าปกติ

- ค่า NSE ในชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลองอยู่ในระดับแม่นยำที่น่าพึงพอใจ แต่ลดลงอย่างมากในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเหลือเพียง 0.08 หมายความว่าแบบจำลองไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลทดสอบได้ดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพเชิงพยากรณ์ของแบบจำลองในชั้นดิน 25–50 เซนติเมตรอยู่ในระดับต่ำ

- R^2 (Coefficient of Determination) แบบจำลองทำนายค่าได้ดีในชุดข้อมูลสำหรับการฝึก แต่สูญเสียความสามารถในการอธิบายข้อมูลใหม่อย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับค่า NSE ที่ต่ำ

แบบจำลองสามารถทำนายค่าเฉลี่ยของอีซีอีได้ดี แต่ไม่สามารถจับรูปแบบความแปรปรวนเชิงพื้นที่หรือเชิงค่าของข้อมูลใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองการทำนายค่าอีซีอี ในชั้นดินความลึก 25–50 เซนติเมตร แสดงประสิทธิภาพในระดับค่อนข้างดีในชุดข้อมูลฝึก (NSE = 0.58, R^2 = 0.78) แต่ประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจนในชุดข้อมูลทดสอบ โดยมีค่า NSE เท่ากับ 0.08 และ R^2 เท่ากับ 0.34 สะท้อนถึงข้อจำกัดของแบบจำลองในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลใหม่ แม้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MAE และ RMSE) จะยังอยู่ในระดับต่ำก็ตาม ข้อมูลชุดนี้อาจไม่สะท้อนผ่านตัวแปรผิวดินหรือรีโมตเซนซิงได้ดีเท่ากับดินบน (0-25 เซนติเมตร)

1.3) ค่าอีซีอีของดินที่ความลึก 50-100 เซนติเมตร

แบบจำลองมีประสิทธิภาพ ค่อนข้างต่ำทั้งในชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบ โดยเฉพาะด้านความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล (NSE และ R^2) ซึ่งสะท้อนว่า การทำนายความเค็มในชั้นดินลึกมีข้อจำกัดสูง

- ค่า Bias เป็นลบทั้งสองชุดข้อมูล และมีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงว่าแบบจำลองมีแนวโน้มประเมินค่าอีซีอีต่ำกว่าค่าจริงอย่างเป็นระบบ (systematic underestimation)

- MAE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลองอย่างชัดเจน (เพิ่มขึ้น 19%) ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กับข้อมูลใหม่สะท้อนว่า generalization ของแบบจำลองในชั้นดินลึกค่อนข้างจำกัด

- RMSE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลองเล็กน้อย แสดงว่าแบบจำลอง ไม่ได้เกิดความผิดพลาดขนาดใหญ่อย่างรุนแรงในข้อมูลใหม่ แต่ค่า RMSE ที่ค่อนข้างสูงสะท้อนถึงความไม่แน่นอนของการทำนายโดยรวม

- ค่า NSE ทั้งสองชุดต่ำกว่า 0.3 แบบจำลองมีประสิทธิภาพเพียง เล็กน้อยดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลและในเชิงปฏิบัติถือว่าประสิทธิภาพต่ำ

- ค่า R^2 (Coefficient of Determination) แสดงว่าแบบจำลองไม่สามารถอธิบายโครงสร้างความแปรปรวนของข้อมูลอีซีอีในชั้นดินลึกได้ดี โดยเฉพาะเมื่อประยุกต์ใช้กับข้อมูลใหม่

แบบจำลองสามารถทำนายค่าอีซีอี โดยทำนายค่าในดินบน (0-25 เซนติเมตร) ได้ดีที่สุด การพัฒนาแบบจำลองนี้มีความแม่นยำสูงกว่า การทำนายความเค็มของดินโดยใช้วิธีการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ให้ค่า R^2 ระหว่าง 0.3479-0.3543 และการประมาณค่าช่วงพื้นที่ในจังหวัดนครราชสีมา ของยุรัติกานต์ (2564) แต่ใกล้เคียงกับการพัฒนาแบบจำลองของ *Asfaw et al.* (2018) ที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.78 และ *Ma et al.* (2021) ที่แบบจำลอง มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.5-0.8 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ของ *วรัมย์พร* (2568) ที่พัฒนาแผนที่ความเค็มในดินโดยใช้อัลกอริทึม QRF ความคลาดเคลื่อนทั้งหมดของแบบจำลองคาดการณ์ค่าที่ได้จากการประมาณค่าเฉลี่ยแล้วมีแนวโน้มสูงกว่าค่าจริง (bias = 0.03) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE = 6.74) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE = 0.15) ส่วนระดับความแม่นยำของแบบจำลองจากค่า Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)

มีค่าเท่ากับ 0.96 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูง พบว่าแบบจำลองของวิธีนี้มีค่าสถิติดีกว่า เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีขนาดเล็กกว่า ดินจึงมีความหลากหลายแปรปรวนน้อยกว่า

ค่าสถิติแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการทำนายผลลงในดินล่าง โดยเฉพาะดินที่ระดับความลึก 50–100 เซนติเมตร ลักษณะนี้มักพบในการแผนที่ดินดิจิทัล เนื่องจากตัวแปรในชั้นดินบนสัมพันธ์กับข้อมูลรีโมตเซนซิงมากกว่าดินล่าง

2) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าไอเอสพี

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในการทำนายค่าไอเอสพีของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ มีรายละเอียด (ตารางที่ 16) ดังนี้

ตารางที่ 16 ค่าสถิติประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าไอเอสพี

ค่าไอเอสพี	dataset	Bias	MAE	RMSE	NSE	R ²
ดินที่ระดับความลึก 0-25 cm	Training	-2.9922	4.2889	13.7652	0.4476	0.5131
	Testing	-3.4632	5.4787	15.7553	0.3638	0.4473
ดินที่ระดับความลึก 25-50 cm	Training	-3.2386	4.5368	13.4338	0.5202	0.6049
	Testing	-2.0893	5.4643	15.2541	0.2907	0.3040
ดินที่ระดับความลึก 50-100 cm	Training	-2.7825	3.6767	10.9538	0.7046	0.7861
	Testing	-3.5988	6.1361	16.4859	0.2710	0.3147

2.1) ค่าไอเอสพีของดินที่ความลึก 0-25 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ แสดงว่าโมเดลมีแนวโน้ม ประเมินค่าไอเอสพีต่ำกว่าค่าจริง (underestimation) ในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ ค่า Bias มีขนาดเพิ่มขึ้น แสดงว่าโมเดลมีความเอนเอียงเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กับข้อมูลใหม่

- ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย Mean Absolute Error (MAE) ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่า Training เล็กน้อย ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายในข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้น โมเดลมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้จากชุดฝึกไปยังชุดทดสอบ (generalization ability) ไม่ได้จดจำข้อมูลฝึกมากเกินไป ยังสามารถรักษาระดับความแม่นยำได้เมื่อใช้กับข้อมูลใหม่ แต่ความแม่นยำลดลง

- ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย Root Mean Square Error (RMSE) ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลเล็กน้อย บ่งชี้ว่าโมเดลไม่เกิด overfitting อย่างรุนแรง และความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large errors) ไม่เพิ่มขึ้นในชุดทดสอบ

- สามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) โมเดลนี้มีประสิทธิภาพ โดยชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลมีค่า 0.4476 และชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ 0.3638 แสดงว่าแบบจำลองสามารถคาดคะเน โดยมีความแม่นยำที่น่าพอใจ อธิบายความแปรปรวนของอีเอสพีได้

- สามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล Coefficient of Determination (R^2) ชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดล โมเดลอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 51% ชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบลดลงเหลือ 44% แสดงถึง ความสามารถในการอธิบายข้อมูลใหม่อยู่ในระดับปานกลางและอาจได้รับผลจากความไม่สม่ำเสมอของค่าอีเอสพีเชิงพื้นที่

แบบจำลองทำนายค่าอีเอสพีในดินระดับความลึก 0–25 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าอีเอสพีได้ มีแนวโน้มประเมินค่าความเค็มต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย และความแม่นยำลดลงเล็กน้อยในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ

2.2) ค่าอีเอสพีของดินที่ความลึก 25-50 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบแสดงว่าโมเดลยังมีแนวโน้มประเมินค่าอีเอสพีต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย โดยค่า Bias ในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก แสดงว่า ความเอนเอียงเชิงระบบลดลง เมื่อใช้กับข้อมูลใหม่

- MAE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลเล็กน้อย แสดงว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายลดลงเล็กน้อย และยังอยู่ในระดับต่ำ สะท้อนว่าโมเดลไม่มี overfitting ด้านขนาดความผิดพลาดโดยรวม

- RMSE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลเล็กน้อยบ่งชี้ว่าแบบจำลองไม่เกิดความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large errors) เพิ่มขึ้นในข้อมูลใหม่และมีเสถียรภาพด้านการทำนายในช่วงค่าปกติ

- ค่า NSE ในชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลอยู่ในระดับคาดคะเนค่าแม่นยำน่าพึงพอใจ แต่ลดลงอย่างมากในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเหลือเพียง 0.2907 แสดงว่าโมเดลสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลทดสอบได้ดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย

- R^2 (Coefficient of Determination) ความแตกต่างของค่า R^2 ชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบค่อนข้างมาก โมเดลเรียนรู้รูปแบบจากข้อมูลฝึกได้ค่อนข้างดีในระดับปานกลางถึงดี และลดต่ำลงเมื่อใช้ชุดข้อมูลใหม่ อธิบายข้อมูลใหม่ค่อนข้างจำกัด

แบบจำลองค่าอีเอสพีของชั้นดินความลึก 25–50 เซนติเมตร โมเดลมีประสิทธิภาพในชุดข้อมูลฝึก โดยมีค่า NSE เท่ากับ 0.52 และค่า R^2 เท่ากับ 0.60 แสดงให้เห็นถึงความสามารถของโมเดลในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการทำนายค่าอีเอสพีได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ในชุดข้อมูลทดสอบ ค่า NSE และ R^2 ลดลงอย่างชัดเจน เหลือเพียง 0.29 และ 0.30 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าโมเดลยังไม่สามารถรักษาประสิทธิภาพในการทำนายข้อมูลใหม่ได้อย่างเหมาะสม อาจสะท้อนถึงปัญหาการปรับแบบจำลองให้เหมาะสมกับข้อมูลฝึกมากเกินไป (overfitting)

2.3) ค่าไอเอสพีของดินที่ความลึก 50-100 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลทดสอบ แสดงว่าโมเดลยังมีแนวโน้มประเมินค่าไอเอสพีต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย
- MAE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดล แสดงว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายเพิ่มขึ้น
- RMSE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดล
- ค่า NSE ในชุด Training อธิบายความแปรปรวนได้แม่นยำสูง แต่ลดลงอย่างมากในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเหลือเพียง 0.3147 ที่อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลทดสอบได้ดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย
- R^2 (Coefficient of Determination)

ในชั้นดินความลึก 50–100 เซนติเมตร โมเดลแสดงประสิทธิภาพสูงที่สุดในชุดข้อมูลฝึก โดยมีค่า NSE และ R^2 เท่ากับ 0.70 และ 0.79 ตามลำดับ อีกทั้งมีค่า MAE และ RMSE ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นดินอื่น แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าไอเอสพีในดินชั้นลึกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม เมื่อประเมินผลด้วยชุดข้อมูลทดสอบ พบว่าค่า NSE และ R^2 ลดลงอย่างมาก (0.27 และ 0.31 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าแม้โมเดลจะมีความแม่นยำสูงในการเรียนรู้ข้อมูลฝึก แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลภายนอกพื้นที่ศึกษา

โดยสรุป แบบจำลองทำนายค่าไอเอสพีสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ดี แนวโน้มความแม่นยำ เช่นเดียวกับค่าอีซีอี ความแม่นยำในการทำแผนที่ดิจิทัลของไอเอสพีลดลงตามความลึก ค่า Bias ที่มีค่าเป็นลบในทุกระดับความลึกของดิน และแตกต่างกันเล็กน้อยในชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลอง และชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบไม่เปลี่ยนทิศทาง บ่งชี้ว่าแบบจำลองมีแนวโน้มทำนายค่าไอเอสพีต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัดจริงอย่างสม่ำเสมอ ค่า RMSE ที่สูงกว่า MAE อย่างชัดเจนบ่งชี้ว่ามี outliers หรือ extreme cases แบบจำลองอาจยังทำนายบริเวณที่มีความแปรปรวนสูงได้ไม่ดี

การสร้างแผนที่ดินดิจิทัล

1) แผนที่ระดับความเค็มของดิน

นำข้อมูลแบบจำลองค่าอีซีอีมาจัดชั้นระดับความเค็มของดิน ที่ความลึก 0-25, 25-50 และ 50-100 เซนติเมตร รายละเอียดดังนี้

1.1) แผนที่ระดับความเค็มของดิน ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับความเค็มปานกลางถึงเค็มจัดคือมีค่าอีซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่รวม 598,429 ไร่ หรือร้อยละ 0.571 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 8,162 ไร่ หรือร้อยละ 0.008 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มมาก ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 68,373 ไร่ หรือร้อยละ 0.065 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 521,894 ไร่ หรือร้อยละ 0.498 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 17 และภาพที่ 11)

ดินที่มีระดับความเค็มเล็กน้อย ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 849,686 ไร่ หรือร้อยละ 0.811 ของเนื้อที่ภาค และระดับที่ไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 103,376,285 ไร่ หรือร้อยละ 98.619 ของเนื้อที่ภาค

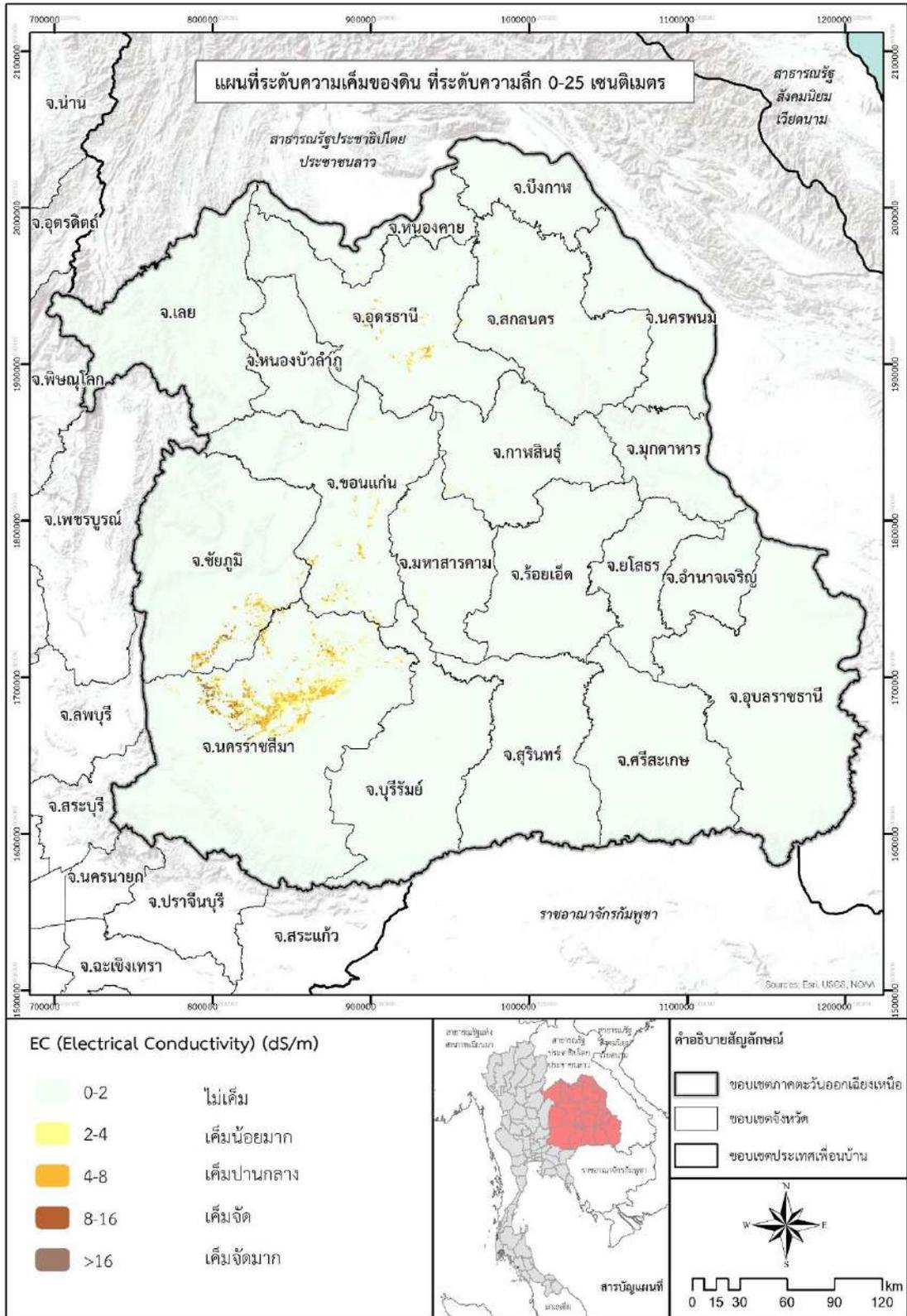
1.2) แผนที่ระดับความเค็มของดิน ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับความเค็มปานกลางถึงเค็มจัดคือมีค่าอีซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่รวม 126,931 ไร่ หรือร้อยละ 0.121 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 1,803 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มมาก ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 10,068 ไร่ หรือร้อยละ 0.010 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 115,060 ไร่ หรือร้อยละ 0.110 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 17 และภาพที่ 12)

ดินที่มีระดับความเค็มเล็กน้อย มีค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 12,160,597 ไร่ หรือร้อยละ 11.601 ของเนื้อที่ภาค และระดับที่ไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 92,536,872 ไร่ หรือร้อยละ 88.278 ของเนื้อที่ภาค

ตารางที่ 17 เนื้อที่ดินที่ความเค็มในระดับต่าง ๆ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ความลึกดิน (cm)	เนื้อที่ (ไร่)						รวมเนื้อที่ภาค
	1	2	3	4	5	รวม 3-5	
	EC _e < 2 dS m ⁻¹	EC _e 2 - 4 dS m ⁻¹	EC _e 4 - 8 dS m ⁻¹	EC _e 8 - 16 dS m ⁻¹	EC _e >16 dS m ⁻¹	EC _e > 4 dS m ⁻¹	
0-25	103,376,285 (ร้อยละ 98.619)	849,686 (ร้อยละ 0.811)	521,894 (ร้อยละ 0.498)	68,373 (ร้อยละ 0.065)	8,162 (ร้อยละ 0.008)	598,429 (ร้อยละ 0.571)	104,824,400 (ร้อยละ 100)
25-50	92,536,872 (ร้อยละ 88.278)	12,160,597 (ร้อยละ 11.601)	115,061 (ร้อยละ 0.110)	10,067 (ร้อยละ 0.010)	1,803 (ร้อยละ 0.002)	126,931 (ร้อยละ 0.121)	104,824,400 (ร้อยละ 100)
50-100	104,249,472 (ร้อยละ 99.452)	444,802 (ร้อยละ 0.424)	119,745 (ร้อยละ 0.114)	10,381 (ร้อยละ 0.010)	0 (ร้อยละ 0)	130,126 (ร้อยละ 0.114)	104,824,400 (ร้อยละ 100)



ภาพที่ 11 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร



ภาพที่ 12 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร

1.3) แผนที่ระดับความเค็มของดิน ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับความเค็มปานกลางถึงเค็มจัดคือมีค่าอีซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่รวม 130,126 ไร่ หรือร้อยละ 0.114 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับเค็มมาก ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 10,381 ไร่ หรือร้อยละ 0.010 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 119,745 ไร่ หรือร้อยละ 0.114 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 17 และภาพที่ 13)

ดินที่มีระดับความเค็มเล็กน้อย มีค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 444,802 ไร่ หรือร้อยละ 0.424 ของเนื้อที่ภาค และระดับที่ไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 104,249,472 ไร่ หรือร้อยละ 99.452 ของเนื้อที่ภาค

ระดับความเค็มของดินซึ่งจัดทำจากแบบจำลองค่าอีซีอี เมื่อพิจารณาตามระดับความลึกพบว่า ส่วนใหญ่ดินเค็มในดินบนและมีแนวโน้มจะเค็มลดลงในดินล่าง โดยความเค็มของดินตลอดหน้าตัดดินอยู่ในระดับเค็มปานกลาง

2) แผนที่ระดับโซดิกในดิน

นำข้อมูลแบบจำลองค่าอีเอสพีมาจัดชั้นระดับโซดิกในดิน ที่ความลึก 0-25, 25-50 และ 50-100 เซนติเมตร รายละเอียดดังนี้

2.1) แผนที่ระดับโซดิกในดิน ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร

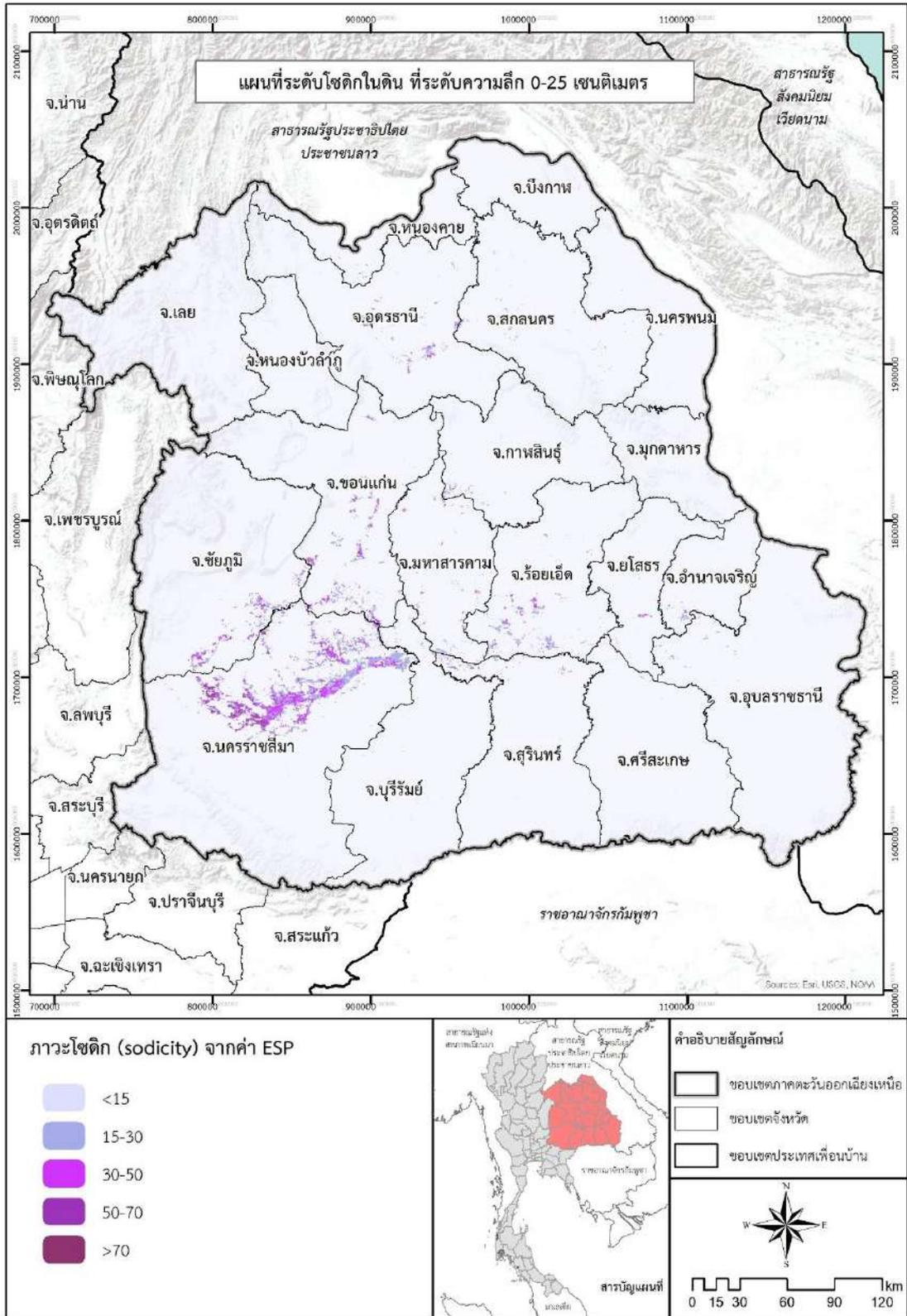
ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับมีโซดิกน้อยถึงโซดิกรุนแรงมาก คือมีค่าอีเอสพี มากกว่า 15 เนื้อที่รวม 1,915,649 ไร่ หรือร้อยละ 1.827 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,294,376 ไร่ หรือร้อยละ 1.235 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 460,105 ไร่ หรือร้อยละ 0.439 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 109,847 ไร่ หรือร้อยละ 0.105 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 51,321 ไร่ หรือร้อยละ 0.049 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 18 และภาพที่ 14)

ตารางที่ 18 เนื้อที่ดินที่มีโซดิกระดับต่าง ๆ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ความ ลึกดิน (cm)	เนื้อที่ (ไร่)						รวมเนื้อที่ภาค
	1	2	3	4	5	รวม 2-5	
	ESP <15	ESP 15-30	ESP 30-50	ESP 50-70	ESP >70	ESP ≥ 15	
0-25	102,908,751 (ร้อยละ 98.173)	1,294,376 (ร้อยละ 1.235)	460,105 (ร้อยละ 0.439)	109,847 (ร้อยละ 0.105)	51,321 (ร้อยละ 0.049)	1,915,649 (ร้อยละ 1.827)	104,824,400 (ร้อยละ 100)
25-50	102,193,797 (ร้อยละ 97.490)	1,813,810 (ร้อยละ 1.730)	638,061 (ร้อยละ 0.609)	120,673 (ร้อยละ 0.115)	58,059 (ร้อยละ 0.055)	2,630,603 (ร้อยละ 2.509)	104,824,400 (ร้อยละ 100)
50-100	102,343,829 (ร้อยละ 97.634)	1,477,062 (ร้อยละ 1.409)	761,364 (ร้อยละ 0.727)	191,713 (ร้อยละ 0.183)	49,432 (ร้อยละ 0.047)	2,479,571 (ร้อยละ 2.366)	104,824,400 (ร้อยละ 100)



ภาพที่ 13 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร



ภาพที่ 14 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร

ดินที่ไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก มีค่าไอเอสพี น้อยกว่า 15 เนื้อที่ 102,908,751 ไร่ หรือร้อยละ 98.173 ของเนื้อที่ภาค

2.2) แผนที่ระดับโซดิกในดิน ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับมีโซดิกน้อยถึงโซดิกรุนแรงมาก คือมีค่าไอเอสพี มากกว่า 15 เนื้อที่รวม 2,630,603 ไร่ หรือร้อยละ 2.509 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,813,810 ไร่ หรือร้อยละ 1.730 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 638,061 ไร่ หรือร้อยละ 0.609 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 120,673 ไร่ หรือร้อยละ 0.115 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 58,059 ไร่ หรือร้อยละ 0.055 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 18 และภาพที่ 15)

ดินที่ไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก มีค่าไอเอสพี น้อยกว่า 15 เนื้อที่ 102,193,797 ไร่ หรือร้อยละ 97.490 ของเนื้อที่ภาค

2.3) แผนที่ระดับโซดิกในดิน ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

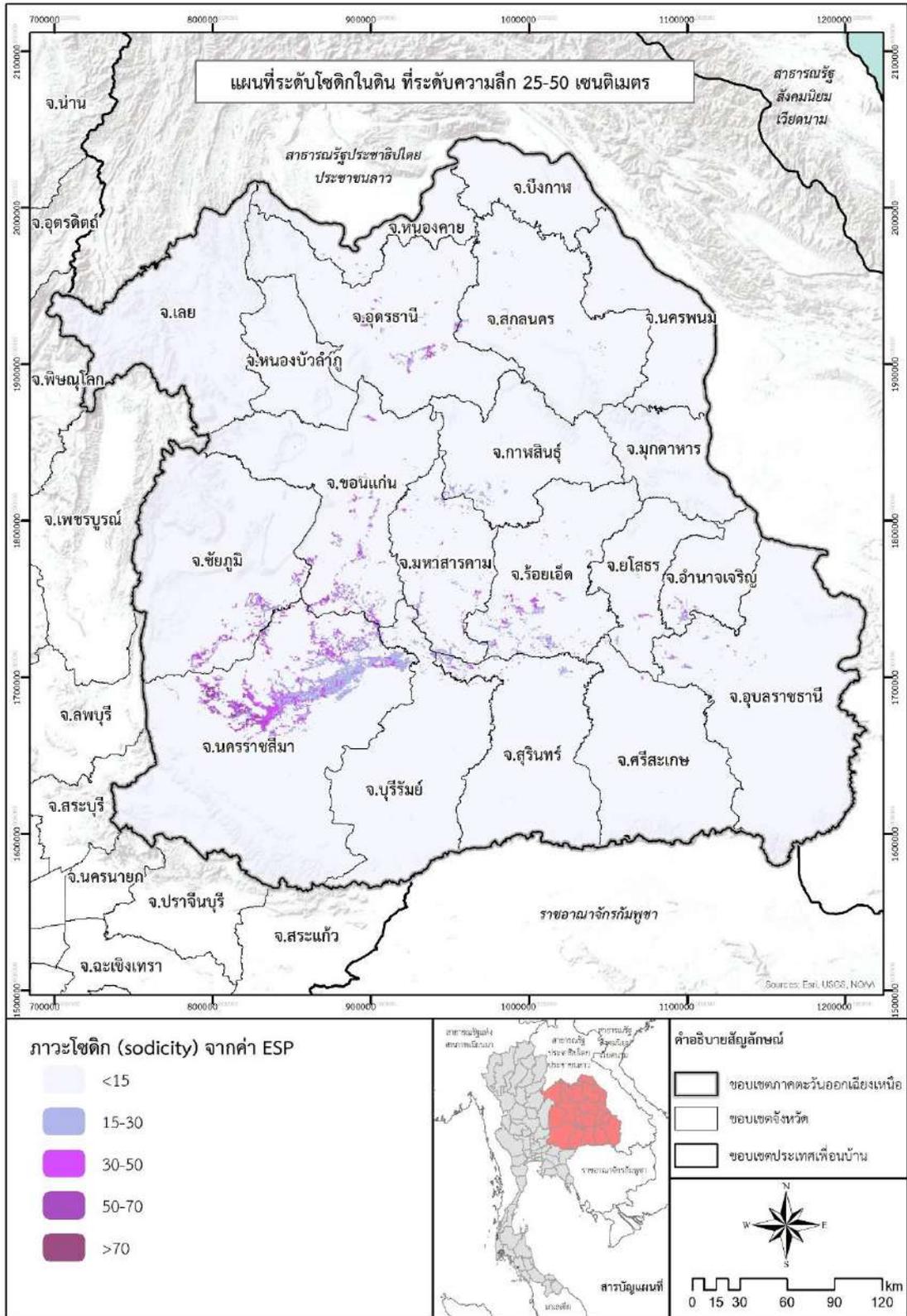
ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับมีโซดิกน้อยถึงโซดิกรุนแรงมาก คือมีค่าไอเอสพี มากกว่า 15 เนื้อที่รวม 2,479,571 ไร่ หรือร้อยละ 2.366 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,477,062 ไร่ หรือร้อยละ 1.409 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 761,364 ไร่ หรือร้อยละ 0.727 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 192,713 ไร่ หรือร้อยละ 0.183 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 49,432 ไร่ หรือร้อยละ 0.047 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 18 และภาพที่ 16)

ดินที่ไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก มีค่าไอเอสพี น้อยกว่า 15 เนื้อที่ 102,343,829 ไร่ หรือร้อยละ 97.634 ของเนื้อที่ภาค

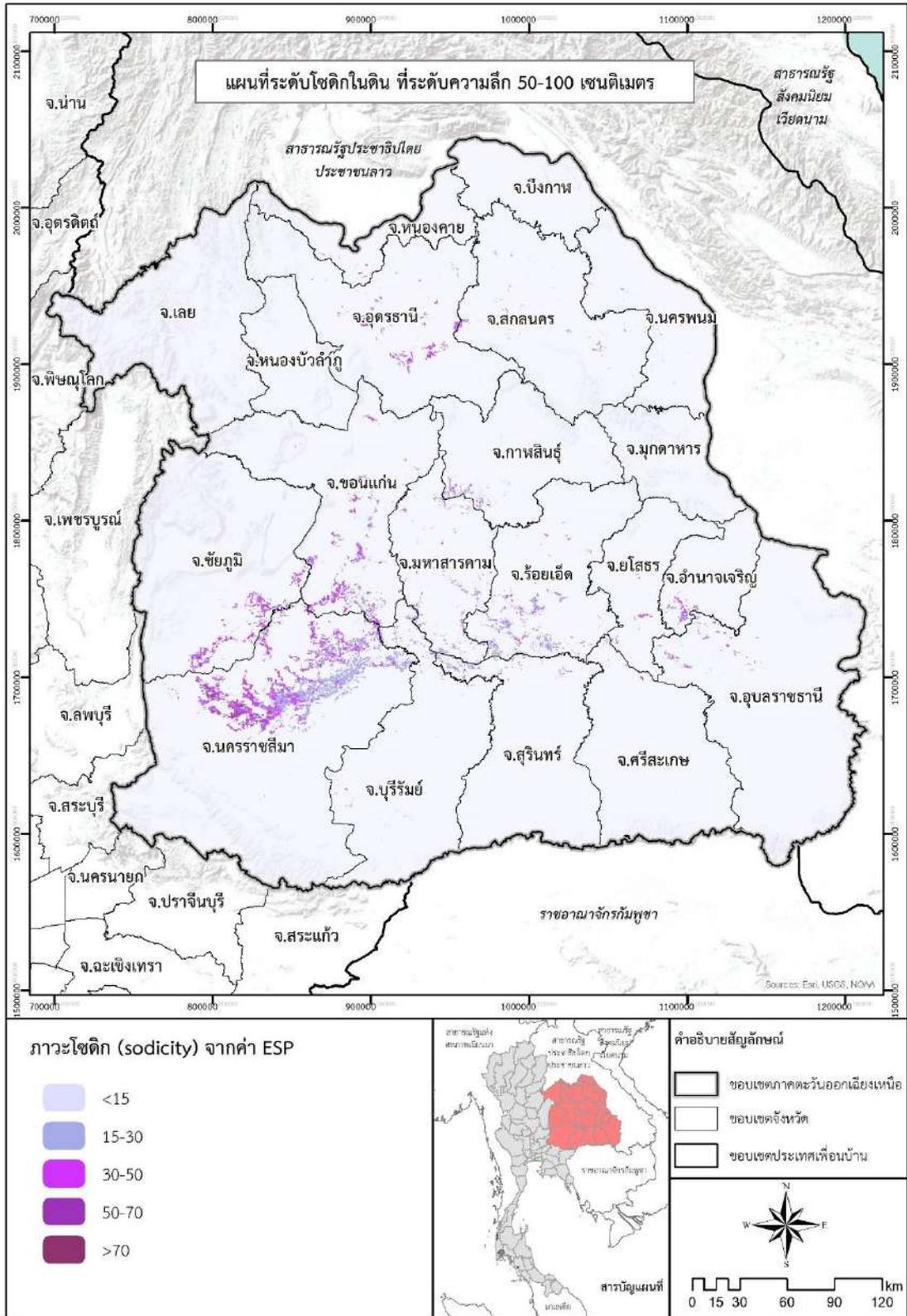
ระดับโซดิกในดินซึ่งจัดทำจากแบบจำลองค่าไอเอสพี เมื่อพิจารณาตามระดับความลึก พบว่า ดินมีแนวโน้มมีโซดิกเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยอยู่ในระดับมีโซดิกน้อยถึงปานกลาง

3) แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

ผลการวิจัยพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ มี 2 ประเภท ได้แก่ ดินเค็มโซดิกและดินโซดิก และมีเนื้อที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงชั้นความลึกของดิน และมีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกแตกต่างกัน (ตารางที่ 19 และภาพที่ 17-19) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิก ดินลุ่มเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือมากกว่าดินบน และดินบนมีแนวโน้มเป็นดินเค็มโซดิกมากกว่าดินลุ่ม มีรายละเอียดแต่ละช่วงความลึกของดิน ดังนี้



ภาพที่ 15 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร



ภาพที่ 16 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร

ตารางที่ 19 เนื้อที่ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

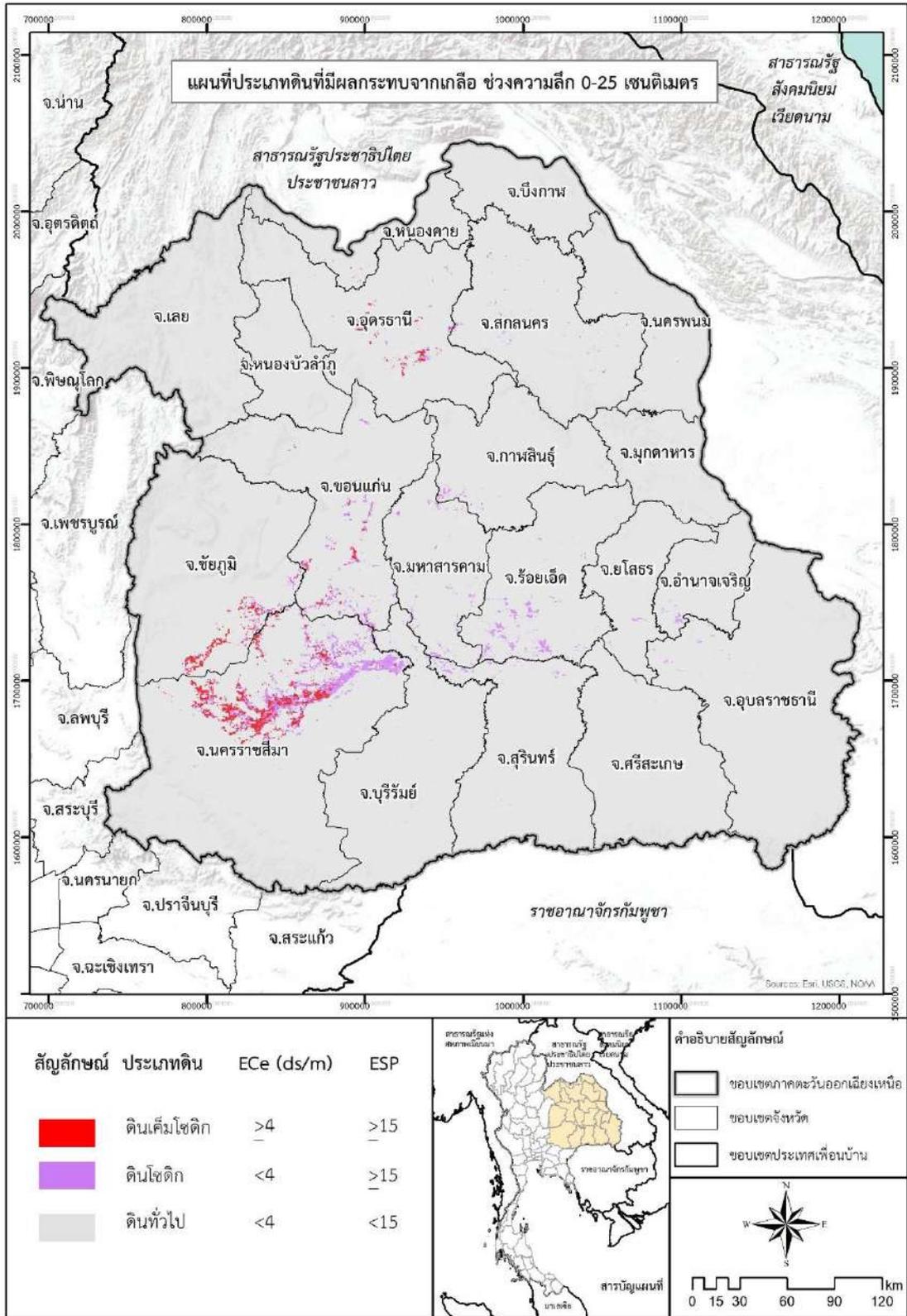
ความลึก ของดิน (cm)	เนื้อที่ (ไร่)				รวมทั้งภาค
	ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ			ดินอื่น ๆ	
	ดินเค็มโซดิก	ดินโซดิก	รวม		
0-25	598,429	1,317,220	1,915,649	102,908,751	104,824,400
	ร้อยละ 0.571	ร้อยละ 1.257	ร้อยละ 1.828	ร้อยละ 98.173	ร้อยละ 100
	ของภาค	ของภาค	ของภาค	ของภาค	
	ร้อยละ 31.239	ร้อยละ 68.761	ร้อยละ 100		
	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ		
25-50	126,931	2,503,673	2,630,604	102,193,796	104,824,400
	ร้อยละ 0.121	ร้อยละ 2.388	ร้อยละ 2.509	ร้อยละ 97.490	ร้อยละ 100
	ของภาค	ของภาค	ของภาค	ของภาค	
	ร้อยละ 4.825	ร้อยละ 95.175	ร้อยละ 100		
	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ		
50-100	130,125	2,350,445	2,480,570	102,343,830	104,824,400
	ร้อยละ 0.124	ร้อยละ 2.242	ร้อยละ 2.366	ร้อยละ 97.634	ร้อยละ 100
	ของภาค	ของภาค	ของภาค	ของภาค	
	ร้อยละ 5.246	ร้อยละ 94.754	ร้อยละ 100		
	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ	ของดินที่มีผลกระทบ จากเกลือ		

3.1) ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 1,915,649 ไร่ แบ่งเป็น ดินโซดิก เนื้อที่ 1,317,220 ไร่ หรือร้อยละ 68.76 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 598,429 ไร่ หรือร้อยละ 31.24 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

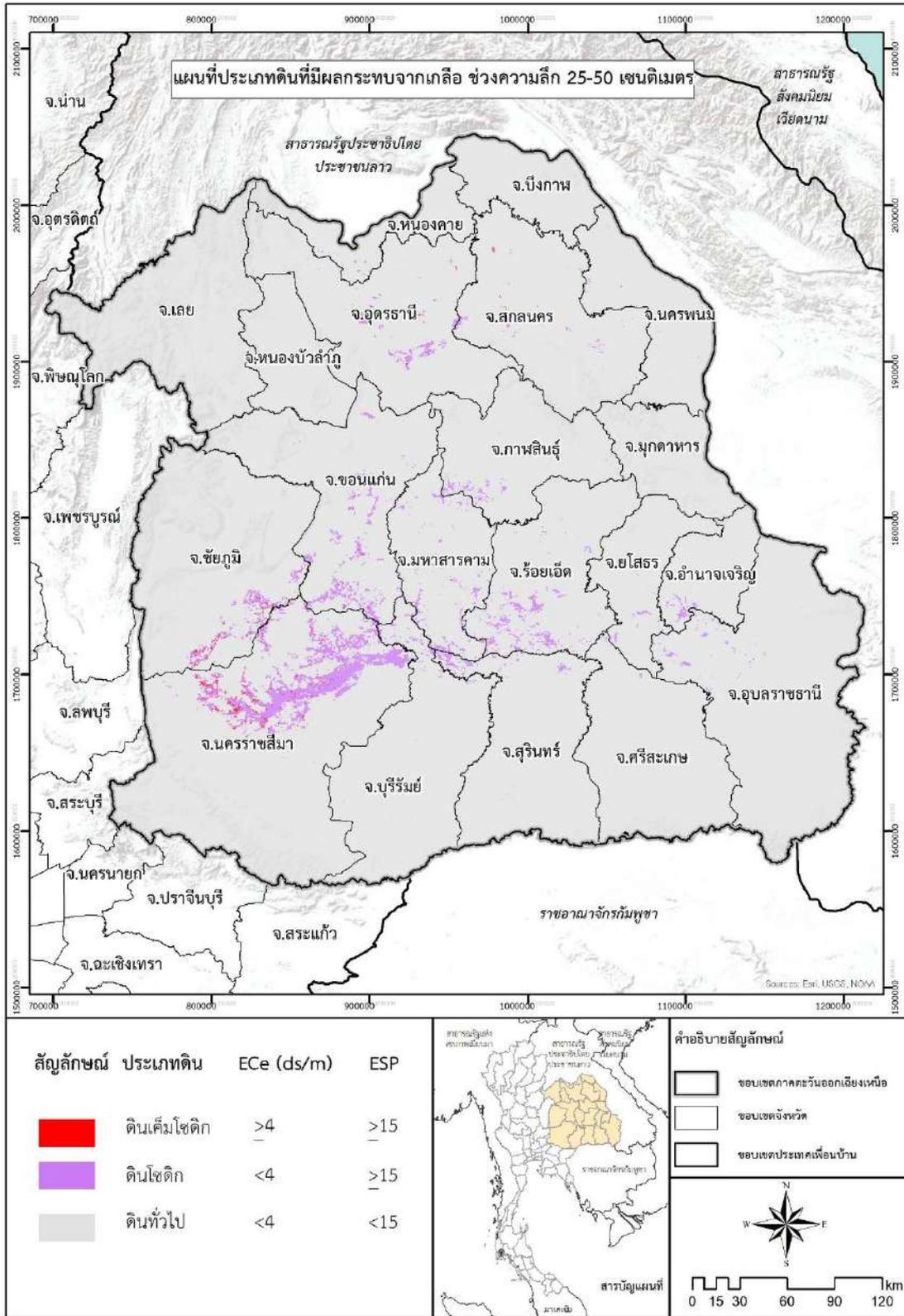
3.2) ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 2,630,604 ไร่ แบ่งเป็น ดินโซดิก เนื้อที่ 2,503,673 ไร่ หรือร้อยละ 95.17 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 126,931 ไร่ หรือร้อยละ 4.83 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

3.3) ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 2,480,570 ไร่ แบ่งเป็น ดินโซดิก เนื้อที่ 2,480,570 ไร่ หรือร้อยละ 94.75 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 130,125 ไร่ หรือร้อยละ 5.25 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

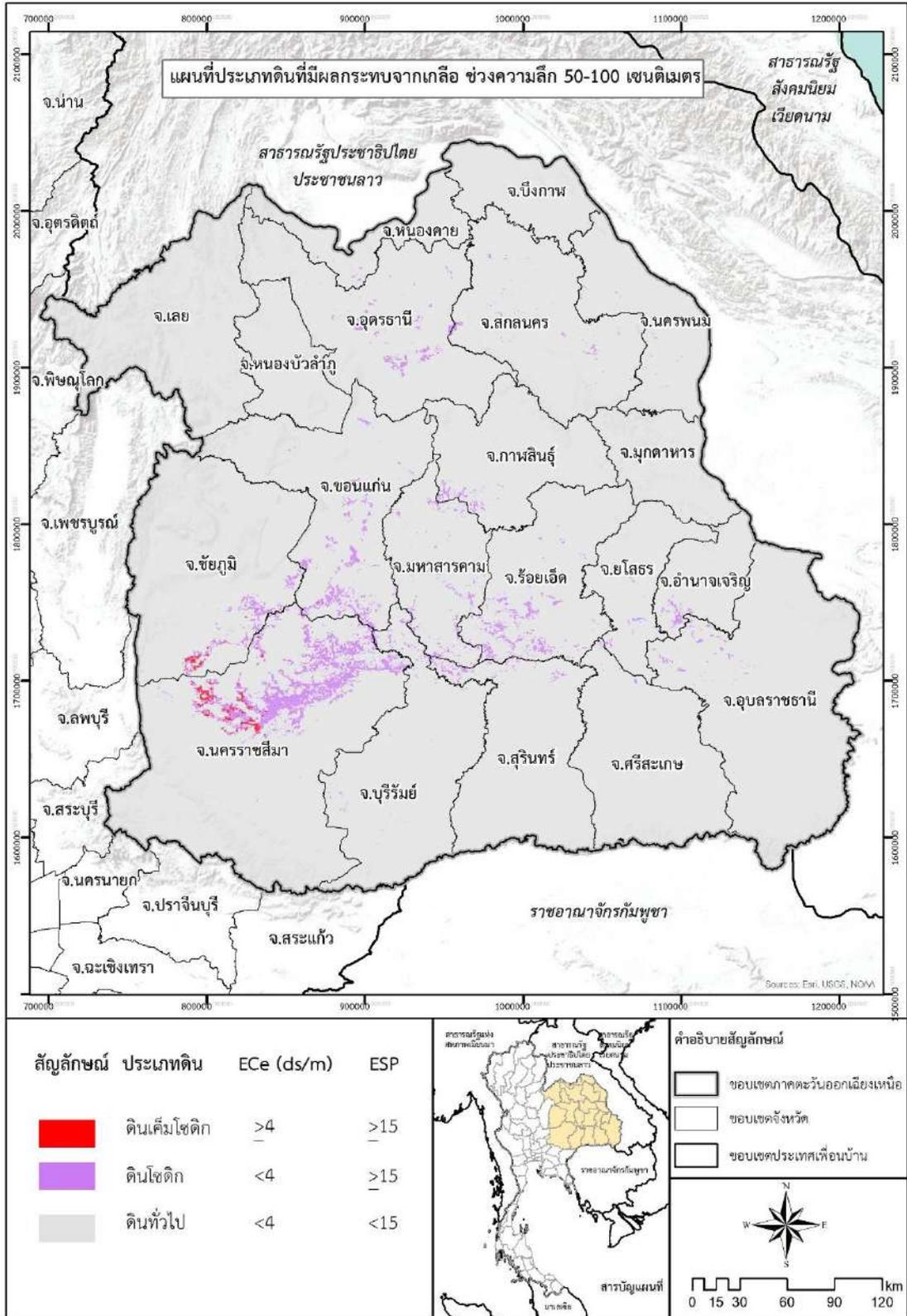
ดินมีสมบัติเป็นที่มีผลกระทบจากเกลือเพิ่มขึ้นในดินล่าง ดินเป็นดินโซดิกมากกว่า ดินเค็มโซดิกและมีเนื้อที่ดินเค็มโซดิกลดลงและเป็นดินโซดิกเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 17 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร



ภาพที่ 18 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร



ภาพที่ 19 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

ประเมินระดับความรุนแรงของความเค็มของดินและโซดิกของดิน

เมื่อพิจารณาแต่ละชั้นความลึกของดินมีรายละเอียด ดังนี้

1) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร

เนื้อที่รวม 1,915,649 ไร่ หรือร้อยละ 1.827 ของเนื้อที่ภาค พบว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือมีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก แตกต่างกัน 20 แบบ (ตารางที่ 20) ดังนี้

1.1) ดินเค็มโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโซดิก ที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าอีเอสพี 15-50 พบดินเค็มโซดิก 12 แบบ เรียงลำดับพื้นที่มากไปน้อย ดังนี้

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 256,131 ไร่ หรือร้อยละ 0.244 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 180,020 ไร่ หรือร้อยละ 0.172 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,289 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 27,454 ไร่ หรือร้อยละ 0.026 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 23,874 ไร่ หรือร้อยละ 0.023 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 19,310 ไร่ หรือร้อยละ 0.018 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 11,211 ไร่ หรือร้อยละ 0.011 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 13,979 ไร่ หรือร้อยละ 0.013 ของเนื้อที่ภาค

(9) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,990 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(10) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 2,187 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(11) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 919 ไร่ หรือร้อยละ 0.001 ของเนื้อที่ภาค

(12) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 3,065 ไร่ หรือร้อยละ 0.003 ของเนื้อที่ภาค

ตารางที่ 20 เนื้อที่ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มของดินและ
โซดิกลักษณะแบบต่าง ๆ

ความ ลึกของ ดิน (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	ร้อยละ ของพื้นที่ ภาค	ร้อยละ ของพื้นที่ดินที่มี ผลกระทบจาก เกลือ	
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	256,131	0.244	13.370	saline-sodic 1
			30-50	180,020	0.172	9.397	saline-sodic 2
			50-70	58,289	0.056	3.043	saline-sodic 3
			>70	27,454	0.026	1.433	Saline-sodic 4
	8-16	8-16	15-30	23,874	0.023	1.246	saline-sodic 5
			30-50	19,310	0.018	1.008	saline-sodic 6
			50-70	11,211	0.011	0.585	saline-sodic 7
			>70	13,979	0.013	0.730	saline-sodic 8
	>16	>16	15-30	1,990	0.002	0.104	saline-sodic 9
			30-50	2,187	0.002	0.114	saline-sodic 10
			50-70	919	0.001	0.048	saline-sodic 11
			>70	3,065	0.003	0.160	saline-sodic 12
รวม				598,429	0.571	31.239	
ดินโซดิก	< 2	< 2	15-30	658,558	0.628	34.378	sodic 1
			30-50	114,555	0.109	5.980	sodic 2
			50-70	12,607	0.012	0.658	sodic 3
			>70	2,079	0.002	0.109	sodic 4
	2-4	2-4	15-30	353,823	0.338	18.470	sodic 5
			30-50	144,034	0.137	7.519	sodic 6
			50-70	26,821	0.026	1.400	sodic 7
			>70	4,743	0.005	0.248	sodic 8
รวม				1,317,220	1.257	68.761	

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ความลึกของดิน (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	ร้อยละของพื้นที่ภาค	ร้อยละของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
25-50	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	41,684	0.040	1.585	saline-sodic 1	
			30-50	43,827	0.042	1.666	saline-sodic 2	
			50-70	17,837	0.017	0.678	saline-sodic 3	
			>70	11,712	0.011	0.445	Saline-sodic 4	
	8-16	15-30	1,937	0.002	0.074	saline-sodic 5		
		30-50	4,210	0.004	0.160	saline-sodic 6		
		50-70	1,813	0.002	0.069	saline-sodic 7		
		>70	2,108	0.002	0.080	saline-sodic 8		
	>16	>70	1,803	0.002	0.069	saline-sodic 12		
	รวม			126,931	0.121	4.825		
	ดินโซดิก	< 2	15-30	1,449,188	1.382	55.090	sodic 1	
			30-50	348,415	0.332	13.245	sodic 2	
50-70			37,953	0.036	1.443	sodic 3		
>70			9,989	0.010	0.380	sodic 4		
2-4		15-30	320,993	0.306	12.202	sodic 5		
		30-50	241,609	0.230	9.185	sodic 6		
		50-70	62,980	0.060	2.394	sodic 7		
		>70	32,547	0.031	1.237	sodic 8		
รวม				2,503,674	2.388	95.175		
50-100		ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	15-30	19,580	0.019	0.789
				30-50	30-50	41,902	0.040	1.689
				50-70	50-70	39,598	0.038	1.596
	>70			>70	18,664	0.018	0.752	
	8-16	15-30	15-30	929	0.001	0.037		
		30-50	30-50	3,403	0.003	0.137		
		50-70	50-70	3,994	0.004	0.161		
		>70	>70	2,055	0.002	0.083		
	รวม			130,125	0.124	5.246		

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ความลึกของดิน (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	ร้อยละของพื้นที่ภาค	ร้อยละของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	1,318,473	1.258	53.152	sodic 1
			30-50	528,174	0.504	21.292	sodic 2
			50-70	90,506	0.086	3.649	sodic 3
			>70	11,073	0.011	0.446	sodic 4
	2-4	15-30	138,080	0.132	5.566	sodic 5	
		30-50	187,885	0.179	7.574	sodic 6	
		50-70	58,614	0.056	2.363	sodic 7	
		>70	17,640	0.017	0.711	sodic 8	
รวม			2,350,445	2.242	94.754		

1.2) ดินโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิก ที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าไอเอสพี 15-50 พบดินโซดิก 8 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 658,558 ไร่ หรือร้อยละ 0.628 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 114,555 ไร่ หรือร้อยละ 0.109 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 12,607 ไร่ หรือร้อยละ 0.012 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 2,079 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 353,823 ไร่ หรือร้อยละ 0.338 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 144,034 ไร่ หรือร้อยละ 0.137 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 26,821 ไร่ หรือร้อยละ 0.026 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 4,743 ไร่ หรือร้อยละ 0.005 ของเนื้อที่ภาค

2) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร

เนื้อที่รวม 2,630,605 ไร่ หรือร้อยละ 2.510 ของเนื้อที่ภาค

2.1) ดินเค็มโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโซดิก ที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อยถึงรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี 15-70 พบดินเค็มโซดิก 9 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 41,684 ไร่ หรือร้อยละ 0.040 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 43,827 ไร่ หรือร้อยละ 0.042 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 17,837 ไร่ หรือร้อยละ 0.017 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 11,712 ไร่ หรือร้อยละ 0.011 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,937 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 4,210 ไร่ หรือร้อยละ 0.004 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 1,813 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 2,108 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(9) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าไอซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 1,803 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

2.2) ดินโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าไอเอสพี 15-50 พบดินโซดิก 8 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี 0-2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,449,188 ไร่ หรือร้อยละ 1.382 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 348,415 ไร่ หรือร้อยละ 0.332 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 37,953 ไร่ หรือร้อยละ 0.036 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 9,989 ไร่ หรือร้อยละ 0.010 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 320,993 ไร่ หรือร้อยละ 0.306 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 241,609 ไร่ หรือร้อยละ 0.230 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 62,980 ไร่ หรือร้อยละ 0.060 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 32,547 ไร่ หรือร้อยละ 0.031 ของเนื้อที่ภาค

3) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

เนื้อที่รวม 2,480,570 ไร่ หรือร้อยละ 2.366 ของเนื้อที่ภาค

3.1) ดินเค็มโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโซดิก ที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อยถึงรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี 15-70 พบดินเค็มโซดิก 8 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 19,580 ไร่ หรือร้อยละ 0.019 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 41,902 ไร่ หรือร้อยละ 0.040 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 39,598 ไร่ หรือร้อยละ 0.038 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 18,664 ไร่ หรือร้อยละ 0.018 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 929 ไร่ หรือร้อยละ 0.001 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 3,403 ไร่ หรือร้อยละ 0.003 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 3,994 ไร่ หรือร้อยละ 0.004 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 2,055 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

3.2) ดินโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิกที่ไม่เค็มค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าไอเอสพี 15-50 พบดินโซดิก 8 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,318,473 ไร่ หรือร้อยละ 1.258 ของเนื้อที่ภาค

- (2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 528,174 ไร่ หรือร้อยละ 0.504 ของเนื้อที่ภาค
- (3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,614 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค
- (4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 17,640 ไร่ หรือร้อยละ 0.017 ของเนื้อที่ภาค
- (5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 138,080 ไร่ หรือร้อยละ 0.132 ของเนื้อที่ภาค
- (6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 187,885 ไร่ หรือร้อยละ 0.179 ของเนื้อที่ภาค
- (7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,614 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค
- (8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าไอซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 17,640 ไร่ หรือร้อยละ 0.017 ของเนื้อที่ภาค

แนวทางการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

การคัดเลือกพืชในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน พิจารณาจากชนิดพืชที่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในดินที่มีสภาพความเค็มระดับต่าง ๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558; และกรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ดังตารางที่ 4 และพืชที่สามารถปลูกในดินที่มีโซดิกระดับต่าง ๆ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาชนิดพืชที่เหมาะสมในประเทศไทย จึงใช้ข้อมูลจากต่างประเทศมาแนะนำในเบื้องต้น (Pearson, 1960) (ตารางที่ 5) นำข้อมูลมาประมวลและจัดทำแนวทางการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามระดับ ความรุนแรงของความเค็มและโซดิก ทั้ง 20 แบบ โดยแบ่งเป็น ดินเค็มโซดิก 12 แบบ และดินโซดิก 8 แบบ ดังนี้

1) การจัดการดินเค็มโซดิก

1.1) saline-sodic 1

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 256,131 ไร่ หรือร้อยละ 0.244 ของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ หรือร้อยละ 0.244 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่มีผลต่อพืชหลายชนิด ดินเริ่มจับตัวแน่นเล็กน้อย รากพืชอาจเริ่มแทรกได้ยากในบางจุด พืชบางชนิดอาจเริ่มแสดงอาการแคระแกร็น

การเลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มปานกลาง เช่น

- ข้าว ข้าวพันธุ์ทนเค็ม

- พืชไร่และหญ้า เช่น ถั่วเหลือง ป่าน โสนพื้นเมือง ทานตะวัน ปอแก้ว ข้าวโพด หม่อน ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง ถั่วพุ่ม และถั่วพราง
 - พืชสวน เช่น บวบ พริกยักษ์ กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี มันฝรั่ง น้ำเต้า กระเทียม หอมใหญ่ หอมแดง แตงโม ข้าวโพดหวาน ผักกาดหอม องุ่น สับปะรด และผักชี
 - ไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ปาล์มน้ำมัน ชมพู่ มะกอก แคนตาลูป และทับทิม
- เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกในระดับเล็กน้อย เช่น ข้าว และถั่ว

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ทำคั่นนา/ปรับระดับพื้นที่
- จัดการระบายน้ำให้สามารถล้างเกลือหลังฝนตก/รดน้ำ ล้างเกลือตามค่า leaching requirement (LR) ซึ่งจะต้องใช้ค่าไอซีของน้ำชลประทาน (ECw) ในพื้นที่มาคำนวณ
- ทำระบบการระบายน้ำที่ชะล้างเกลือและโซเดียม

1.2) saline-sodic 2

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 180,020 ไร่ หรือร้อยละ 0.172 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่มีผลต่อพืชหลายชนิด ดินเริ่มแข็งตัวแน่นมากขึ้น น้ำซึมผ่านได้ช้า รากพืชเติบโตได้ไม่ดี ใบพืชอาจเหลืองหรือเหี่ยวจากการขาดน้ำ ผลผลิตลดลง และพืชบางชนิดตาย

การเลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มปานกลาง เช่น

- ข้าว ข้าวพันธุ์ทนเค็ม
- พืชไร่และหญ้า เช่น ถั่วเหลือง ป่าน โสนพื้นเมือง ทานตะวัน ปอแก้ว ข้าวโพด หม่อน ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง ถั่วพุ่ม และถั่วพราง
- พืชสวน เช่น บวบ พริกยักษ์ กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี มันฝรั่ง น้ำเต้า กระเทียม หอมใหญ่ หอมแดง แตงโม ข้าวโพดหวาน ผักกาดหอม องุ่น สับปะรด และผักชี
- ไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ปาล์มน้ำมัน ชมพู่ มะกอก แคนตาลูป และทับทิม

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับปานกลาง เช่น ข้าว โคลเวอร์ หรือพืชตระกูลถั่วคลอเวอร์ ไร้ต หญ้าฟิสคิว และหญ้าดัลลิส

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)

- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ทำคัณนา/ปรับระดับพื้นที่

- จัดการระบายน้ำให้สามารถล้างเกลือหลังฝนตก/รดน้ำ ล้างเกลือตามค่า leaching requirement (LR) ซึ่งจะต้องใช้ค่าไอซีของน้ำชลประทาน (ECw) ในพื้นที่มาคำนวณ

- ทำระบบการระบายน้ำที่ชะล้างเกลือและโซเดียม

1.3) saline-sodic 3

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีไอ 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,289 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่มีผลต่อพืชหลายชนิด ดินแน่นจัด ไม่ซึมน้ำ พืชเจริญเติบโตช้า ตายได้ง่ายจากการขาดน้ำหรือรากเน่า ขาดธาตุอาหาร พืชส่วนใหญ่เติบโตไม่ได้

การเลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มปานกลาง เช่น

- ข้าว ข้าวพันธุ์ทนเค็ม

- พืชไร่และหญ้า เช่น ถั่วเหลือง ป่าน โสนพื้นเมือง ทานตะวัน ปอแก้ว ข้าวโพด หม่อน ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง ถั่วพุ่ม และถั่วพรี

- พืชสวน เช่น บวบ พริกยักษ์ กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี มันฝรั่ง น้ำเต้า กระเทียม หอมใหญ่ หอมแดง แดงโม ข้าวโพดหวาน ผักกาดหอม องุ่น สับปะรด และผักชี

- ไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ปาล์มน้ำมัน ชมพู มะกอก แคน มะเดื่อ และทับทิม

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับรุนแรงหรือมาก เช่น ข้าวสาลี ฝ้าย บาร์เลย์ มะเขือเทศ ปีบรูต หนุ่ยวีทกราสส์ หนุ่ยโรดส์หรือหนุ่ยฮอว์นกราสส์ และหนุ่ยอัลฟัลฟา

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)

- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ทำคัณนา/ปรับระดับพื้นที่

- จัดการระบายน้ำให้สามารถล้างเกลือหลังฝนตก/รดน้ำ ล้างเกลือตามค่า leaching requirement (LR) ซึ่งจะต้องใช้ค่าไอซีของน้ำชลประทาน (EC_w) ในพื้นที่มาคำนวณ
- ทำระบบการระบายน้ำที่ชะล้างเกลือและโซเดียม
- ปลุกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่างๆ
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)
- พิจารณาปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.4) saline-sodic 4

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าไอซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 27,454 ไร่ หรือร้อยละ 0.026 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่มีผลต่อพืชหลายชนิด มีโซดิกรุนแรงมาก ดินเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง แหบไม่สามารถปลูกพืชได้เลย ยกเว้นพืชทนเค็มหรือพืชเฉพาะทาง ต้องมีการปรับปรุงดินอย่างจริงจัง

การเลือกพืช

ไม่มีพืชเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตได้ ควรปลูกพืชตระกูลถั่วและพืชคลุมดิน

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปรับระดับพื้นที่
- จัดการระบายน้ำให้สามารถล้างเกลือหลังฝนตก/รดน้ำ ล้างเกลือตามค่า leaching requirement (LR) ซึ่งจะต้องใช้ค่าไอซีของน้ำชลประทาน (EC_w) ในพื้นที่มาคำนวณ
- ทำระบบการระบายน้ำที่ชะล้างเกลือและโซเดียม
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)
- จัดการแบบบูรณาการ โดยควรพิจารณาพักหรือเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.5) saline-sodic 5

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าไอซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 23,874 ไร่ หรือร้อยละ 0.023 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่พืชทนเค็มเท่านั้นที่ยังเจริญเติบโตได้ดี ดินเริ่มจับตัวแน่นเล็กน้อย รากพืชอาจเริ่มแทรกได้ยากในบางจุด พืชบางชนิดอาจเริ่มแสดงอาการแคระแกร็น พืชอ่อนไหวเริ่มได้รับผล

การเลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีระดับเค็มจัด ได้แก่

- ข้าว ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว
- พืชไร่และหญ้า เช่น โสนอินเดีย โสนคางคก ข้าวทนเค็ม คำฝอย โสนอัฟริกัน มันเทศ หญ้าขน และหญ้างินนิ
- พืชสวน เช่น ผักโขม ผักกาดหัว มะเขือเทศ ถั่วพุ่ม และแคนตาลูป
- ไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ฝรั่ง มะยม สมอ กระถินณรงค์ มะม่วงหิมพานต์ ชีเหล็ก และยูคาลิปตัส
- ปลูกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกในระดับเล็กน้อย เช่น ข้าว และถั่ว

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ล้างเกลือและระบายน้ำ (ใช้น้ำฝน/ชลประทานคุณภาพดีล้างเกลือ พร้อมมีคู/ท่อระบายน้ำ)
- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม
- ใช้การจัดการแปลงแบบพูนโคน ให้มีความชื้นสูงเพื่อเลี่ยงการสะสมเกลือผิวดิน

1.6) saline-sodic 6

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 19,309 ไร่ หรือร้อยละ 0.018 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่พืชทนเค็มเท่านั้นที่ยังเจริญเติบโตได้ดี ดินเริ่มแข็งตัว แน่นมากขึ้น น้ำซึมผ่านได้ช้า รากพืชเติบโตไม่ได้ ใบพืชอาจเหลืองหรือเหี่ยวจากการขาดน้ำ ผลผลิตลดลง พืชบางชนิดตาย

การเลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มจัด เช่น

- ข้าว พื้นที่นี้ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว
- พืชไร่และหญ้า เช่น โสนอินเดีย โสนคางคก ข้าวทนเค็ม คำฝอย โสนอัฟริกัน มันเทศ หญ้าขน และหญ้างินนิ
- พืชสวน เช่น ผักโขม ผักกาดหัว มะเขือเทศ ถั่วพุ่ม และแคนตาลูป

- ไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ฝรั่ง มะยม สมอ กระจับปี่ มะม่วงหิมพานต์ ขี้เหล็ก และยูคาลิปตัส
- ปลุกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับปานกลาง เช่น ข้าว โคลเวอร์ หรือพืชตระกูลถั่วคอลลอร์ โอ๊ต หญ้าฟิสคว และหญ้าดัลลิส

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปลุกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
- ล้างเกลือและระบายน้ำ (ใช้น้ำฝน/ชลประทานคุณภาพดีล้างเกลือ พร้อมมีคู/ท่อระบายน้ำ)
- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม
- ใช้การจัดการแปลงแบบพูนโคน ให้มีความชื้นสูงเพื่อเลี่ยงการสะสมเกลือผิวดิน

1.7) saline-sodic 7

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 11,211 ไร่ หรือร้อยละ 0.011 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่พืชทนเค็มเท่านั้นที่ยังเจริญเติบโตได้ดี ดินแน่นจัดไม่ซึมน้ำ พืชเจริญเติบโตช้า ตายได้ง่ายจากการขาดน้ำหรือรากเน่า ขาดธาตุอาหาร พืชส่วนใหญ่เติบโตไม่ได้

การเลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มจัด เช่น

- ข้าว พื้นที่นี้ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว
- พืชไร่และหญ้า เช่น โสนอินเดีย โสนคางคก ข้าวทนเค็ม คำฝอย โสนอัฟริกัน มันเทศ หญ้าขน และหญ้างินนี้
- พืชสวน เช่น ผักโขม ผักกาดหัว มะเขือเทศ ถั่วพุ่ม และแคนตาลูป
- ไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ฝรั่ง มะยม สมอ กระจับปี่ มะม่วงหิมพานต์ ขี้เหล็ก และยูคาลิปตัส
- ปลุกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับรุนแรงหรือมาก เช่น ข้าวสาลี ฝ้าย บาร์เลย์ มะเขือเทศ บีทรูต หญ้าวิทกราสส์ หญ้าโรดส์หรือหญ้าฮอร์นกราสส์ และหญ้าอัลฟัลฟา

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปลุกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
- ปลุกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่าง ๆ
- ล้างเกลือและระบายน้ำ (ใช้น้ำฝน/ชลประทานคุณภาพดีล้างเกลือ พร้อมมีคู/ท่อระบายน้ำ)
- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม
- ใช้การจัดการแปลงแบบพูนโคน ให้มีความชื้นสูงเพื่อเลี่ยงการสะสมเกลือผิวดิน
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)

1.8) saline-sodic 8

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 13,979 ไร่ หรือร้อยละ 0.013 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่พืชทนเค็มเท่านั้นที่ยังเจริญเติบโตได้ดี ดินเริ่มจับตัวแน่นเล็กน้อย รากพืชอาจเริ่มแทรกได้ยากในบางจุด พืชบางชนิดอาจเริ่มแสดงอาการแคระ

การเลือกพืช

ไม่มีพืชเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตได้ ควรปลูกพืชตระกูลถั่วและพืชคลุมดิน

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปลุกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
- ปลุกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่าง ๆ
- ล้างเกลือและระบายน้ำ (ใช้น้ำฝน/ชลประทานคุณภาพดีล้างเกลือ พร้อมมีคู/ท่อระบายน้ำ)
- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม
- ใช้การจัดการแปลงแบบพูนโคน ให้มีความชื้นสูงเพื่อเลี่ยงการสะสมเกลือผิวดิน
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)

- จัดการแบบบูรณาการ โดยควรพิจารณาพักหรือเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.9) saline-sodic 9

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,990 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่พืชทนเค็มน้อยชนิดมากที่เจริญเติบโตได้ดี ดินเริ่มจับตัวแน่นเล็กน้อย รากพืชอาจเริ่มแทรกได้ยากในบางจุด พืชบางชนิดอาจเริ่มแสดงอาการแคระแกร็น

เลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มจัดมาก เช่น

- ข้าว พื้นที่นี้ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว
- พืชไร่และหญ้า เช่น หญ้านวลน้อย ผัก หญ้าแพรก หญ้าไฮบริดเนเปียร์ หญ้าชั้นอากาศ หญ้าหัวหมู และป่านศรนารายณ์
- พืชสวน เช่น หน่อไม้ฝรั่ง คენห่า กะเพรา ผักบุ้งจีน และชะอม
- ไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ละมุด พุทรา มะขามเทศ มะขาม สะเดา มะพร้าว อินทผลัม และสน

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับเล็กน้อย เช่น ข้าว และถั่ว

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปลูกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลวมผิวหน้าดิน
- ปลูกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่าง ๆ
- พื้นฟูด้วยวิธีทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยทำการระบายน้ำถาวรและล้างเกลือหลายรอบ โดยอาศัยฝนและ/หรือชลประทานน้ำดี
- พิจารณาปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.10) saline-sodic 10

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 2,187 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่พืชทนเค็มน้อยชนิดมากที่เจริญเติบโตได้ดี ดินเริ่มแข็งตัวแน่นมากขึ้น น้ำซึมผ่านได้ช้า รากพืชเติบโตได้ไม่ดี ใบพืชอาจเหลืองหรือเหี่ยวจากการขาดน้ำ ผลผลิตลดลง พืชบางชนิดตาย

เลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มจัดมาก เช่น

- ข้าว พื้นที่นี้ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว
- พืชไร่และหญ้า เช่น หญ้านวลน้อย ฝ้าย หญ้าแพรก หญ้าไฮบริดเนเปียร์ หญ้าชันอากาศ หญ้าแห้วหมู และป่านศรนารายณ์
- พืชสวน เช่น หน่อไม้ฝรั่ง คะน้า กะเพรา ผักบุ้งจีน และชะอม
- ไม้ผลและไม้ยืนต้น ได้แก่ ละมุด พุทรา มะขามเทศ มะขาม สะเดา มะพร้าว อินทผลัม และสน

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับปานกลาง เช่น ข้าว โคลเวอร์ หรือพืชตระกูลถั่วคลอเวอร์ โอ๊ต หญ้าฟิสคิว และหญ้าดัลลิส

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปลูกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
- ปลูกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่าง ๆ
- พื้นฟูด้วยวิธีทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยทำการระบายน้ำถาวรและล้างเกลือหลายรอบ โดยอาศัยฝนและ/หรือชลประทานน้ำดี
- พิจารณาปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.11) saline-sodic 11

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าเอสพี 50-70 เนื้อที่ 919 ไร่ หรือร้อยละ 0.001 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่พืชทนเค็มน้อยชนิดมากที่เจริญเติบโตได้ดี ดินแน่นจัด ไม่ซึมน้ำ พืชเจริญเติบโตช้า ตายได้ง่ายจากการขาดน้ำหรือรากเน่า ขาดธาตุอาหาร พืชส่วนใหญ่เติบโตไม่ได้

เลือกพืช

เลือกพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มจัดมาก เช่น

- ข้าว พื้นที่นี้ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว
- พืชไร่และหญ้า เช่น หญ้านวลน้อย ฝ้าย หญ้าแพรก หญ้าไฮบริดเนเปียร์ หญ้าชันอากาศ หญ้าแห้วหมู และป่านศรนารายณ์
- พืชสวน เช่น หน่อไม้ฝรั่ง คะน้า กะเพรา ผักบุ้งจีน และชะอม

- ไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ละมุด พุทรา มะขามเทศ มะขาม สะเดา มะพร้าว อินทผลัม และสน

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับรุนแรงหรือมาก เช่น ข้าวสาลี ฝ้าย บาร์เลย์ มะเขือเทศ ปีพุดต กล้วย้าวิทกราสส์ กล้วย้าโรดส์หรือกล้วย้าฮอร์นกราสส์ และกล้วย้าอัลฟัลฟา

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปลูกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
- ปลูกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่าง ๆ
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)
- พื้นฟูด้วยวิธีทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยทำการระบายน้ำถาวรและล้างเกลือหลายรอบ โดยอาศัยฝนและ/หรือชลประทานน้ำดี
- พิจารณาปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.12) saline-sodic 12

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 3,065 ไร่ หรือร้อยละ 0.003 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่พืชทนเค็มน้อยชนิดมากที่เจริญเติบโตได้ดี ดินเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง แทบไม่สามารถปลูกพืชได้

เลือกพืช

ไม่มีพืชเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตได้ ควรปลูกพืชตระกูลหญ้าและพืชคลุมดิน

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปลูกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
- ปลูกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่าง ๆ
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)

- พื้นฟูด้วยวิธีทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยทำการระบายน้ำถาวรและล้างเกลือหลายรอบ โดยอาศัยฝนและ/หรือชลประทานน้ำดี
- จัดการแบบบูรณาการ โดยควรพิจารณาพักหรือเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2) การจัดการดินโซดิก

2.1) sodic 1

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าไอเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,318,473 ไร่ หรือร้อยละ 1.258 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ดินเริ่มจับตัวแน่นเล็กน้อย รากพืชอาจเริ่มแทรกได้ยากในบางจุด พืชบางชนิด อาจเริ่มแสดงอาการแคระแกร็น

เลือกพืช

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับเล็กน้อย เช่น ข้าว และถั่ว

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)

- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม (Na^+)

2.2) sodic 2

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 528,174 ไร่ หรือร้อยละ 0.504 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ดินเริ่มแข็งตัวแน่นมากขึ้น น้ำซึมผ่านได้ช้า รากพืชเติบโตได้ไม่ดี ใบพืชอาจเหลืองหรือเหี่ยวจากการขาดน้ำ ผลผลิตลดลง พืชบางชนิดตาย

เลือกพืช

- เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับปานกลาง เช่น ข้าว โคลเวอร์ หรือ พืชตระกูลถั่วคอลลอเวอร์ โอ๊ต หญ้าฟิสคิว และหญ้าดัลลิส

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)

- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม

2.3) sodic 3

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรง หรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,614 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ดินแน่นจัด ไม่ซึมน้ำ พืชเจริญเติบโตช้า ตายได้ง่ายจากการขาดน้ำหรือรากเน่าขาดธาตุอาหาร พืชส่วนใหญ่เติบโตไม่ได้

เลือกพืช

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับรุนแรงหรือมาก เช่น ข้าวสาลี ฝ้าย บาร์เลย์ มะเขือเทศ ปีทูต หญ้าวิทกราสส์ หญ้าโรดส์หรือหญ้าฮอร์นกราสส์ และหญ้าอัลพัลฟา

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)

- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม

- ปลูกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่างๆ

- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)

- ฟื้นฟูด้วยวิธีทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยทำการระบายน้ำถาวรและล้างเกลือหลายรอบ โดยอาศัยฝนและ/หรือชลประทานน้ำดี

- พิจารณาปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2.4) sodic 4

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 17,640 ไร่ หรือร้อยละ 0.017 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง มีโซดิกรุนแรงมาก ดินเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง แทบไม่สามารถปลูกพืชได้เลย ยกเว้นพืชทนเค็มหรือพืชเฉพาะทาง ต้องมีการปรับปรุงดินอย่างจริงจัง

เลือกพืช

ไม่มีพืชเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตได้ ควรปลูกพืชตระกูลหญ้าและพืชคลุมดิน

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม
- ปลุกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่างๆ
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)
- จัดการแบบบูรณาการ โดยควรพิจารณาพักหรือเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2.5) sodic 5

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 138,080 ไร่ หรือร้อยละ 0.132 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่มีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม ดินเริ่มจับตัวแน่นเล็กน้อย รากพืชอาจเริ่มแทรกได้ยากในบางจุด พืชบางชนิดอาจเริ่มแสดงอาการแคระแกร็น

การเลือกพืช

ระมัดระวังการเลือกพืชปลูก ไม่เลือกพืชที่อ่อนไหวต่อความเค็ม

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีความเค็มน้อยมาก ได้แก่

- ข้าว ข้าวพันธุ์ทั่วไป
- พืชไร่และหญ้า ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วแดง ถั่วแขก ถั่วปากอ้า และงา
- พืชสวน ได้แก่ ถั่วฝักยาว ผักกาด ขึ้นฉ่าย พริกไทย แตงร้าน แตงไทย และกล้วย
- ไม้ผลและไม้ยืนต้น ได้แก่ ลิ้นจี่ มะนาว ส้ม มะม่วง และอาโวคาโด

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับเล็กน้อย เช่น ข้าว และถั่ว

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม

2.6) sodic 6

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 เนื้อที่ 187,885 ไร่ หรือร้อยละ 0.179 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่มีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม ดินเริ่มแข็งตัวแน่นมากขึ้น น้ำซึมผ่านได้ช้า รากพืชเติบโตได้ไม่ดี ใบพืชอาจเหลืองหรือเหี่ยวจากการขาดน้ำ ผลผลิตลดลง พืชบางชนิดตาย

การเลือกพืช

ระมัดระวังการเลือกพืชปลูก ไม่เลือกพืชที่อ่อนไหวต่อความเค็ม

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีความเค็มน้อยมาก ได้แก่

- ข้าว ข้าวพันธุ์ทั่วไป
- พืชไร่และหญ้า ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วแดง ถั่วแขก ถั่วปากอ้า และงา
- พืชสวน ได้แก่ ถั่วฝักยาว ผักกาด ขึ้นฉ่าย พริกไทย แตงร้าน แตงไทย และกล้วย
- ไม้ผลและไม้ยืนต้น ได้แก่ ลิ้นจี่ มะนาว ส้ม มะม่วง และอาโวคาโด

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซดิกระดับปานกลาง เช่น ข้าว โคลเวอร์ หรือพืชตระกูลถั่วคลอเวอร์ โอ๊ต หญ้าฟิสคิว และหญ้าดัลลิส

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม

2.7) sodic 7

ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าไอเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,614 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่มีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม ดินแน่นจัด ไม่ซึมน้ำ พืชเจริญเติบโตช้า ตายได้ง่ายจากการขาดน้ำหรือรากเน่า ขาดธาตุอาหาร พืชส่วนใหญ่เติบโตไม่ได้

การเลือกพืช

ระมัดระวังการเลือกพืชปลูก ไม่เลือกพืชที่อ่อนไหวต่อความเค็ม

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีความเค็มน้อยมาก ได้แก่

- ข้าว ข้าวพันธุ์ทั่วไป
- พืชไร่และหญ้า ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วแดง ถั่วแขก ถั่วปากอ้า และงา
- พืชสวน ได้แก่ ถั่วฝักยาว ผักกาด ขึ้นฉ่าย พริกไทย แตงร้าน แตงไทย และกล้วย
- ไม้ผลและไม้ยืนต้น ได้แก่ ลิ้นจี่ มะนาว ส้ม มะม่วง และอาโวคาโด

เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินที่มีโซติกะตบรุนแรงหรือมาก เช่น ข้าวสาลี ฝ้าย บาร์เลย์ มะเขือเทศ ปีทูต หญ้าวิทกราสส์ หญ้าโรดส์หรือหญ้าฮอร์นกราสส์ และหญ้าอัลฟัลฟา

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ทำระบบระบายน้ำชะล้างโซเดียม
- ปลูกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่างๆ
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)

2.8) sodic 8

ดินเค็มโซติกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซติกรุนแรงมาก ค่าไอเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 17,640 ไร่ หรือร้อยละ 0.017 ของเนื้อที่ภาค

ความเสี่ยง ความเค็มของดินเป็นระดับที่มีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม มีโซติกรุนแรงมาก ดินเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง แทบไม่สามารถปลูกพืชได้เลย ยกเว้นพืชทนเค็มหรือพืชเฉพาะทาง ต้องมีการปรับปรุงดินอย่างจริงจัง

การเลือกพืช

ไม่มีพืชเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตได้ ควรปลูกพืชตระกูลหญ้าและพืชคลุมดิน

การใส่วัสดุปรับปรุงดิน

- ใส่ยิปซัม (gypsum) ตามค่า Gypsum Requirement (GR) (ซึ่งต้องใช้ค่า CEC ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่สำหรับคำนวณ)
- ใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือ biochar

การจัดการพื้นที่

- ปลูกพืชทนเค็ม ช่วยดึงเกลือและคลุมผิวหน้าดิน
- ปลูกพืชคลุมดินหรือการคลุมดินด้วยวัสดุต่าง ๆ
- ไถพรวนระดับลึก (deep ploughing/subsoiling)
- ฟื้นฟูด้วยวิธีทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยทำการระบายน้ำถาวรและล้างเกลือหลายรอบ โดยอาศัยฝนและ/หรือชลประทานน้ำดี
- จัดการแบบบูรณาการ โดยควรพิจารณาพักหรือเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการศึกษา

ผลการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อทำนายระดับความเค็มและ/หรือความเป็นโซดิกของดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าความเค็มของดินได้ ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากชุดข้อมูลฝึก (training dataset) และชุดข้อมูลทดสอบ (testing dataset) สะท้อนถึงความสามารถของโมเดลในการทำนายค่าความเค็มของดินในเชิงพื้นที่ได้อย่างมีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลจริง ค่าดัชนีทางสถิติที่ใช้ประเมินแบบจำลอง เช่น ค่า Bias, Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ซึ่งให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำระดับปานกลาง โดยมีแนวโน้มการทำนายต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อยในช่วงของค่าความเค็ม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีค่าความเค็มสูง ซึ่งสะท้อนถึงความซับซ้อนของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในสภาพธรรมชาติ

การจัดทำแผนที่ดินดิจิทัล ด้านความเค็มของดิน เมื่อพิจารณาจากค่าอีซีอี พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าตั้งแต่ระดับไม่เค็มถึงเค็มเล็กน้อย (อีซีอี 0-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) พื้นที่ที่เค็มปานกลางถึงเค็มจัด (อีซีอีมากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) มีเนื้อที่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของเนื้อที่ภาค ด้านความเป็นโซดิกของดิน พบว่าส่วนใหญ่โซดิกในดินอยู่ในระดับน้อย (อีเอสพีน้อยกว่า 15 พื้นที่ที่ดินมีโซดิกอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง มีเนื้อที่น้อยกว่าร้อยละ 3 ของเนื้อที่ภาค เมื่อนำข้อมูลความเค็มและโซดิกในดินมาพิจารณาร่วมกันเพื่อจำแนกประเภท พบว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินเค็มโซดิกและดินโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิก ดินในพื้นที่เหล่านี้จะเกิดการฟุ้งกระจาย ดินแน่นทึบ โครงสร้างดินเสื่อมสภาพ การซึมผ่านของน้ำและอากาศลดลง และเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของรากพืช และพื้นที่บางส่วนจัดอยู่ในประเภทดินเค็มโซดิก ซึ่งเป็นดินที่มีทั้งค่าความเค็มและค่าโซดิกสูง ส่งผลกระทบเชิงซ้อนต่อสมบัติกายภาพและเคมีของดิน ทำให้ศักยภาพการผลิตลดลงอย่างมาก ความเค็มในระดับดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการงอก การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในระยะต้นกล้าและระยะสีบพันธุ์ เมื่อพิจารณาระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกในดิน พบลักษณะที่แตกต่างกัน 20 แบบ ซึ่งต้องมีรูปแบบการเลือกพืช ใส่วัสดุปรับปรุงดิน และการจัดการพื้นที่ที่แตกต่างกัน มีแนวทางการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก ดังตารางที่ 21 การทำนายค่าจากแบบจำลองแสดงระดับความเค็มและโซดิกของดิน และประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ สามารถประเมินสภาพปัญหาของดินที่มีผลกระทบจากเกลือเชิงพื้นที่ได้อย่างมีศักยภาพ ใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงดินเพื่อเพาะปลูก จำแนกพื้นที่เสี่ยงดินที่มีผลกระทบจากเกลือ คัดเลือกพื้นที่การทำวิจัยการจัดการดินตามสภาพปัญหาแบบมุ่งเป้า เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดิน การกำหนดเขตความเหมาะสมของการปลูกพืช และการกำหนดมาตรการจัดการความเค็มและโซดิกในระดับนโยบายและระดับปฏิบัติการได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 21 แนวทางการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก

ลักษณะ/ แบบ	ระดับความเค็ม	ระดับโซดิก	การจัดการ		
			การเลือกพืช	วัสดุปรับปรุงดิน	การจัดการพื้นที่
saline- sodic 1	EC _e 4-8 dS m ⁻¹	ESP 15-30 น้อย	เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ดี ในดินเค็มปานกลาง	ใส่ยิปซัมและเพิ่ม อินทรีย์วัตถุ (ปุ๋ย	ทำคันทนา/ปรับระดับ ทำคูระบายและ
saline- sodic 2	ปานกลาง	30-50 ปานกลาง	ข้าว: ข้าวดอกมะลิ 105 พืชไร่/หญ้า: ถั่วเหลือง ป่าน	คอก/หมัก/พืชสด/ biochar)	ระบบระบายน้ำที่ล้างเกลือ
saline- sodic 3		50-70 รุนแรง	โสนพื้นเมือง ทานตะวัน ปอแก้ว ข้าวโพด หม่อน ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง ถั่วพุ่ม ถั่วพราง พืชสวน: บวบ พริกยักษ์ กะหล่ำดอก/ปลี มันฝรั่ง น้ำเต้า กระเทียม หอมใหญ่/แดง แดงโม ข้าวโพดหวาน ผักกาดหอม องุ่น สับปะรด ผักชี ไม้ผล/ไม้ยืนต้น: ปาล์มน้ำมัน ชมพู มะกอก แคน มะเดื่อ ทับทิม *ร่วมกับเลือกพืชที่เหมาะสมตาม ระดับโซดิกในดิน		ล้างเกลือ ทำคูระบายและ ระบบระบายน้ำชะล้างเกลือ และโซเดียม ปลูกพืชคลุมดิน/คลุมดิน ไถพรวนลึก พิจารณาเปลี่ยนการใช้ที่ดิน
saline- sodic 4		>70 รุนแรงมาก	ปลูกหญ้า/พืชคลุมดิน ไม่ปลูกพืชเศรษฐกิจ	-	จัดการแบบบูรณาการ/พักหรือ เปลี่ยนการใช้ที่ดิน
saline- sodic 5	EC _e 8-16 dS m ⁻¹ เค็มจัด	15-30 น้อย	เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ดี ในดินเค็มจัด พืชไร่/หญ้า: โสนอินเดีย โสนคางคก ข้าวทนเค็ม คำฝอย	ใส่ยิปซัมและเพิ่ม อินทรีย์วัตถุ (ปุ๋ย คอก/หมัก/พืชสด/ biochar)	ล้างเกลือ ทำคูระบายและระบบระบาย น้ำชะล้างเกลือและโซเดียม ปลูกพืชแบบพูนโคน
saline- sodic 6		30-50 ปานกลาง	โสนอัฟริกัน มันเทศ หญ้าขน หญ้ากินนี่ พืชสวน: ผักโขม ผักกาดหัว มะเขือเทศ ถั่วพุ่ม แคนตาลูป ไม้ผล/ไม้ยืนต้น: ฝรั่ง มะยม สมอ		ปลูกพืชคลุมดิน/คลุมดิน ล้างเกลือ ทำคูระบายและ ระบบระบายน้ำชะล้างเกลือ และโซเดียม ปลูกพืชแบบพูนโคน
saline- sodic 7		50-70 รุนแรง	กระถินณรงค์ มะม่วงหิมพานต์ ซีเหล็ก ยูคาลิปตัส *ร่วมกับเลือกพืชที่เหมาะสมตาม ระดับโซดิกในดิน		ปลูกพืชคลุมดิน/คลุมดิน ล้างเกลือ ทำคูระบายและ ระบบระบายน้ำชะล้างเกลือ และโซเดียม ปลูกพืชแบบพูนโคนไถพรวน ระดับลึก
saline- sodic 8		>70 รุนแรงมาก	ปลูกหญ้า/พืชคลุมดิน ไม่ปลูกพืชเศรษฐกิจ	-	จัดการแบบบูรณาการ/พักหรือ เปลี่ยนการใช้ที่ดิน

ตารางที่ 21 (ต่อ)

ลักษณะ/ แบบ	ระดับความเค็ม	ระดับโซดิก	การจัดการ		
			การเลือกพืช	วัสดุปรับปรุงดิน	การจัดการพื้นที่
saline- sodic 9	EC _e >16 dS m ⁻¹	15-30 น้อย	เลือกปลูกพืชที่เจริญเติบโตได้ดี ในดินเค็มจัดมาก	ใส่ยิปซัมและเพิ่ม อินทรีย์วัตถุ (ปุ๋ย	จัดทำระบบระบายน้ำถาวร และล้าง เกลือหลายรอบ ปลูกพืชคลุม
saline- sodic 10	เค็มจัดมาก	30-50 โซดิกปาน กลาง	พืชไร่/หญ้า: หญ้าขนน้อย ฝ้าย หญ้าแพรง หญ้าไฮบริดเนเปียร์ หญ้าชั้นอากาศ หญ้าแห้วหมู	คอก/หมัก/พืชสด/ biochar)	ดิน/คลุมดิน พิจารณาเปลี่ยน การใช้ที่ดิน
saline- sodic 11		50-70 โซดิกรุนแรง	ป่านศรนารายณ์ พืชสวน: หน่อไม้ฝรั่ง คะน้า กะเพรา ผักบุ้งจีน ชะอม ไม้ผล/ไม้ยืนต้น: ละมุด พุทรา มะขามเทศ มะขาม สะเดา มะพร้าว อินทผลัม สน *รวมกับเลือกพืชที่เหมาะสมตาม ระดับโซดิกในดิน		
saline- sodic 12		>70 โซดิกรุนแรง มาก	ปลูกหญ้า/พืชคลุมดิน ไม่ปลูกพืชเศรษฐกิจ	-	จัดการแบบบูรณาการ/พักหรือ เปลี่ยนการใช้ที่ดิน
sodic 1	EC _e < 2 dS m ⁻¹	15-30 น้อย	เลือกปลูกพืชที่ทนโซดิก ระดับน้อย เช่น ข้าวและถั่ว	ใส่ยิปซัมและเพิ่ม อินทรีย์วัตถุ (ปุ๋ย	ทำคูระบายและระบบระบาย น้ำชะล้างโซเดียม
sodic 2	ไม่เค็ม	30-50 ปานกลาง	เลือกปลูกพืชทนโซดิกปานกลาง เช่น ข้าว, โคลเวอร์/ พืชตระกูลถั่วคลอเวอร์, ไรต์, หญ้าฟิสคิว, หญ้าคัลลิส	คอก/หมัก/พืชสด/ biochar)	
sodic 3		50-70 รุนแรง	เลือกปลูกพืชทนโซดิกรุนแรง เช่น ข้าวสาลี, ฝ้าย, บาร์เลย์, มะเขือเทศ, บีทรูต, หญ้าวิททราสส์, หญ้าโรดส์/ หญ้าฮอร์นกราสส์, หญ้าอัลฟัลฟา		ทำคูระบายและระบบระบาย น้ำชะล้างเกลือและโซเดียม ปลูกพืชคลุมดิน/คลุมดิน ไถพรวนลึก พิจารณาเปลี่ยน การใช้ที่ดิน
sodic 4		>70 รุนแรงมาก	ปลูกหญ้า/พืชคลุมดิน ไม่ปลูกพืชเศรษฐกิจ	-	จัดการแบบบูรณาการ/พักหรือ เปลี่ยนการใช้ที่ดิน

ตารางที่ 21 (ต่อ)

ลักษณะ/ แบบ	ระดับความเค็ม	ระดับโซติก	การจัดการ		
			การเลือกพืช	วัสดุปรับปรุงดิน	การจัดการพื้นที่
sodic 5		15-30 น้อย	ไม่ปลูกพืชอ่อนไหวต่อความเค็ม เลือกปลูกพืชที่ทนโซติกระดับ น้อย เช่น ข้าวและถั่ว		ทำคูระบายและ ระบบระบายน้ำขะล่างโซเดียม
sodic 6		30-50 ปานกลาง	ไม่ปลูกพืชอ่อนไหวต่อความเค็ม เลือกปลูกพืชทนโซติกปานกลาง เช่น ข้าว, โคลเวอร์/พืชตระกูล ถั่วคอลลเวอร์, โอ๊ต, หญ้าฟิสคิว, หญ้าดัลลิส	ใส่ยิปซัมและ เพิ่มอินทรีย์วัตถุ (ปุ๋ยคอก/หมัก/ พืชสด/biochar)	
sodic 7	EC _e 2-4 dS m ⁻¹ เค็มน้อยมาก	50-70 รุนแรง	ไม่ปลูกพืชอ่อนไหวต่อความเค็ม เลือกปลูกพืชทนโซติกรุนแรง เช่น ข้าวสาลี, ฝ้าย, บาร์เลย์, มะเขือเทศ, บีทรูต, หญ้าวิทกราสส์, หญ้าโรดส์/ หญ้าฮอร์นกราสส์, หญ้าอัลพัลฟา		ทำคูระบายและ ระบบระบายน้ำขะล่างโซเดียม ปลูกพืชคลุมดิน/คลุมดิน ไถพรวนลึก พิจารณาเปลี่ยนการใช้ที่ดิน
sodic 8		>70 รุนแรงมาก	ปลูกหญ้า/พืชคลุมดิน ไม่ปลูกพืชเศรษฐกิจ		จัดการแบบบูรณาการ/พักหรือ เปลี่ยนการใช้ที่ดิน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเฝ้าระวังและติดตามระดับความเค็มของดินอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ควบคู่กับการตรวจวัดภาคสนาม เพื่อสนับสนุนการวางแผนการใช้ที่ดิน การจัดการทรัพยากรดินและน้ำ และการกำหนดแนวทางการผลิตทางการเกษตรให้เหมาะสมกับศักยภาพของพื้นที่ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีระดับความเค็มและโซติกสูง

2. ควรมีการศึกษาและเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละพื้นที่ มาวิเคราะห์ค่าไอซีซีของน้ำชลประทาน (EC_w) ซึ่งจะใช้ในการคำนวณค่า leaching requirement (LR) สำหรับการล้างเกลือ เพื่อการปรับปรุงความเค็มในดิน และควรเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ในพื้นที่ ซึ่งใช้ในการคำนวณค่า Gypsum Requirement (GR) สำหรับพิจารณาใส่ยิปซัมเพื่อการปรับปรุงโซติกในดิน ให้เป็นข้อมูลเฉพาะพื้นที่

3. ควรทำการศึกษาพืชเศรษฐกิจ พืชท้องถิ่น และพืชปรับปรุงดินที่เจริญเติบโตได้ในดินโซติกที่มีระดับโซติกต่าง ๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกปลูกพืชให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่

4. ควรบูรณาการงานวิจัยด้านดิน น้ำ และพืช เข้ากับการส่งเสริมการเกษตรเชิงพื้นที่ เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการดินเค็มที่เหมาะสมกับบริบทของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลวิชาการเป็นฐานในการตัดสินใจและถ่ายทอดสู่การปฏิบัติจริง พร้อมทั้งเสริมสร้างกลไกความร่วมมือระหว่างหน่วยงานภาครัฐ สถาบันการศึกษา และชุมชน เพื่อขับเคลื่อนการแก้ไขปัญหาดินเค็มเชิงพื้นที่อย่างเป็นระบบและยั่งยืน

5. ระดับนโยบาย ควรนำผลการประเมินระดับความเค็มของดินไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการดำเนินงานตามยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน และด้านการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในมิติการใช้ทรัพยากรดินอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน รวมทั้งบูรณาการข้อมูลดินเค็มเข้ากับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และแผนด้านการเกษตร เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดเขตความเหมาะสมของการใช้ที่ดิน (land suitability zoning) และการส่งเสริมการผลิตพืชให้สอดคล้องกับศักยภาพของพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. **ธรณีวิทยาประเทศไทย**. กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2566. **แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมแผนที่ทหาร. 2543. **แผนที่ประเทศไทย มาตราส่วน 1: 50,000**. กองทัพอากาศ กระทรวงกลาโหม, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2558ก. **คู่มือการพัฒนาที่ดิน สำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2558ข. **สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย**. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2567. **สถานภาพและการจัดการดินเค็มในประเทศไทย**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2567. **ข้อมูลภูมิอากาศคาบ 30 ปี (2538-2566)**. กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.
- กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน. 2565. **การใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน. 2566. **การใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2560. **แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน มาตราส่วน 1:25,000 จังหวัดนครราชสีมา**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2562. **แผนที่ดิน มาตราส่วน 1:25,000**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2562. **แผนที่ดิน มาตราส่วน 1:25,000**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 9. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- ธีรพร ชื่นพี และ ยุรติกานต์ จันทรวีกรณ์. 2568. จัดทำแผนที่ดิจิทัลความเค็มของดินในฤดูแล้ง ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 และภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ในอำเภอจตุรัส จังหวัดชัยภูมิ ประเทศไทย. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 35 (2): 1-17.
- นฤมล จันทร์จิราวุฒิกุล. 2562. แนวทางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินกับดินเค็ม ลุ่มน้ำลำเชียงไกร (รหัส 0506). เอกสารวิชาการกองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน เลขที่ กสด. 62/003. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- พรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย, มณีรัตน์ แจ่มประจักษ์, พัลลภ หงษ์เจริญไทย, ดนัย แสนจันทอง และ นฤมล จันทร์จิราวุฒิกุล. 2567. การทำแผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ: กรณีศึกษาในจังหวัดนครราชสีมา. ใน บทความเรื่องเต็ม การประชุมวิชาการกรมพัฒนาที่ดิน ประจำปี 2567 สาขาวิชาการที่ 5 สาขาจัดทำฐานข้อมูลทรัพยากรดิน/ที่ดินและการประยุกต์ใช้ ระหว่างวันที่ 21-23 สิงหาคม 2567 ณ โรงแรมเดอะริเจนท์ เซอ่า บีช รีสอร์ท จังหวัดเพชรบุรี. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- พิชัย วิชัยดิษฐ์. 2539. การอ่านและการใช้แผนที่ดินเค็ม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 174-176. ใน เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องดินเค็ม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- พิสุทธิ วิจารณณ์. 2530. การจำแนกดินเปรี้ยวและดินเค็มตามแนวชายฝั่งทะเลของประเทศไทย. เอกสารทางวิชาการ ฉบับที่ 74. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ยุรติกานต์ จันทรวีกรณ์. 2564. การทำนาย และจัดทำแผนที่ความเค็มของดิน โดยใช้การสำรวจแม่เหล็กไฟฟ้าและสถิติภูมิศาสตร์ อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- วรัมพร วงษ์วรภาส. 2568. การศึกษาการจัดทำแผนที่ดิจิทัลเพื่อคาดการณ์ค่าความเค็มในดินเชิงพื้นที่ด้วยแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิง กรณีศึกษาดำบลเมืองเพีย อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น. เอกสารวิชาการกองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน เลขที่ กสด. 68/001. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- วุฒิชชาติ สิริช่วยชู. 2542. ลักษณะดิน การจำแนกดินและการจัดการดินเปรี้ยวจัด ดินเค็มและดินอินทรีย์ในภาคใต้. เอกสารวิชาการฉบับที่ 460. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สतिระ อุดมศรี. 2558. ศักยภาพทรัพยากรดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- สมศรี อรุณินท์. 2542. การปรับปรุงดินเค็มและดินโซดิก, 19–29. ใน เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง ดินเค็ม. พิมพ์ครั้งที่ 7. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. 2562. พจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์: ฉบับราชบัณฑิตยสภา. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรัตน์. 2542. การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรัตน์. 2550. ดินเค็มในประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Abrol, I. P., J.S.P. Yadav, and F.I. Massoud. 1988. **Salt-affected soils and their management.** FAO Soil Bulletin 39. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Bishop, C.M. 2006. **Pattern recognition and machine learning.** Springer, Berlin. แหล่งที่มา: <https://link.springer.com/book/9780387310732>, 30 ธันวาคม 2567.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soil.** 14th ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. **Machine Learning.** 45, 5-32. แหล่งที่มา: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324>, 30 ธันวาคม 2567.
- Chen, T. and C. Guestrin. 2016. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, 785-794. In **Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining.** San Francisco, California, USA.
- Chen, T., T. He, M. Benesty, V. Khotilovich, Y. Tang, H. Cho, and T. Zhou. 2015. XGboost: EXtreme gradient boosting. In **R Package Version.** แหล่งที่มา: <https://cran.r-project.org/web/packages/xgboost/index.html>, 1 ตุลาคม 2568.
- Copernicus Data Space Ecosystem. 2024. **Copernicus DEM – Global Digital Surface Model.** แหล่งที่มา: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/copernicus-contributing-missions/collections-description/COP-DEM>, 30 ธันวาคม 2567.

- Demis, A.F. and C. Gilles. 2023. Prediction of soil salinity/sodicity and salt-affected soil classes from soluble salt ions using machine learning algorithms. **Soil Systems** 7(2): 47. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7020047>.
- FAO. 1984. **Prognosis of salinity and alkalinity**. FAO Soils Bulletin No. 51. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 2021. **World Soil Day 2021 - Halt soil salinization, Boost soil productivity**. แหล่งที่มา:https://www.fao.org/land-water/resources/events-detail/en/c/1417187/?utm_source=chatgpt.com, 30 ธันวาคม 2567.
- FAO. 2024. **Global status of salt-affected soils - Main report**. Rome. แหล่งที่มา: <https://doi.org/10.4060/cd3044en>, 30 ธันวาคม 2567.
- Gerardo, R. and P. de Lima Isabel. 2022. Sentinel-2 Satellite Imagery-Based Assessment of Soil Salinity in Irrigated Rice Fields in Portugal. **Agriculture** 12 (9).
- Gorji, T., A. Yildirim, N. Hamzhepour, A. Tanik, and E. Sertel. 2019. Soil salinity analysis of Urmia Lake Basin using Landsat-8 OLI and Sentinel-2A based spectral indices and electrical conductivity measurements. **Ecological Indicators** 112: 106173.
- Gregorutti, B., B. Michel, and P. Saint-Pierre. 2017. Correlation and variable importance in random forests. **Statistics and Computing** 27: 659–678.
- Hastie, T., T. Robert, and F. Jerome. 2009. **The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction**. Vol. 2. Springer, New York.
- Hengl, T., J. Mendes de Jesus, G.B. Heuvelink, M. Ruiperez Gonzalez, M. Kilibarda, A. Blagotić, W. Shangguan, M.N. Wright, X. Geng, and B. Bauer-Marschallinger. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. **PLoS one** 12 (2): e0169748.
- Hengl, T., M. Nussbaum, M.N. Wright, G.B.M. Heuvelink, and B. Gräler. 2018. Random Forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. **Peer J** 6: e5518.
- Hogg, T. J. and J.L. Henry. 1984. Comparison of 1:1 and 1:2 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan soils. **Canadian Journal of Soil Science** 64: 699–704.

- Ian, T.J. and B.S. David. 2003. **Forecast Verification**. John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom.
- Kargas, G., I. Chatzigiakoumis, A. Kollias, D. Spiliotis, I. Massas, and P. Kerkides. 2018. Soil salinity assessment using saturated paste and mass soil: water 1: 1 and 1: 5 ratios extracts. **Water** 10 (11): 1589.
- Köppen, W. and R. Geiger. 1936. **Handbuch der Klimatologie**. Vol. 1. Part C: Gebruder Borntraeger, Berlin.
- Kuhn, M., and K. Johnson. 2013. **Applied Predictive Modeling**. New York, Springer.
- Lagacherie, P. and A.B. McBratney. 2007. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems. **Geoderma** 142; 1–4.
- Landon, J.R. 1984. **Booker Tropical Manual**. Longman Inc., New York.
- Ma, Y., R. Han, and W. Wang. 2021. Portfolio optimization with return prediction using deep learning and machine learning. **Expert Systems with Applications** 165: 113973.
- McBratney, A.B., M.L. Mendonça Santos, and B. Minasny. 2003. On digital soil mapping. **Geoderma** 117(1–2): 3–52.
- Meinshausen, N. 2006. Quantile Regression Forests. **Journal of Machine Learning Research** 7: 983–999.
- Minasny, B., A.B. McBratney, B.P. Malone, and I. Wheeler. 2013. Digital mapping of soil carbon, *pp.* 1–47. *In* D. L. Sparks, ed. **Advances in Agronomy**. Academic Press, London.
- Mitchell, T. 1997. **Machine Learning**. McGraw-Hill Higher Education, New York.
- NASA 2022. **The Shuttle Radar Topography Mission**. Earth Science Data Systems. NASA Earthdata. แหล่งที่มา: www.earthdata.nasa.gov, 30 ธันวาคม 2567.
- Nash, J.E., and J.V. Sutcliffe. 1970. River Flow Forecasting Through Conceptual Models, Part 1: A Discussion of Principles. **Journal of Hydrology** 10(3): 282-290.

- Nussbaum, M., K. Spiess, A. Baltensweiler, U. Grob, A. Keller, and L. Greiner. 2018. Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates. **SOIL** 4; 1–22.
- Omuto, C.T., R.R. Vargas, A.M. El Mobarak, N. Mohamed, K. Viatkin, and Y. Yigini. 2020. **Mapping of salt-affected soils: Technical manual.** FAO, Rome.
- Ozcan, H., H. Ekinici, Y. Yigini, and O. Yuksel. 2006. Comparison of four soil salinity extraction methods, *pp.* 697–703. *In* Proceedings of the 18th International Soil Meeting on “Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology”, Şanlıurfa, Turkey.
- Pearson, G.A. 1960. Tolerance of crops to exchangeable sodium. **Agriculture Information Bulletin No. 216.** Washington, D.C.: Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture.
- R Core Team. 2022. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** R Foundation for Statistical Computing. แหล่งที่มา: <https://www.R-project.org>.
- Richards, L.A. 1954. **Diagnosis and improvements of saline and alkali soils (No. 60).** Agriculture Handbook USDA, Washington.
- Scull, P., J. Franklin, O. Chadwick, and D. McArthur. 2003. Predictive soil mapping: A review. **Progress in Physical Geography** 27: 171-197.
- Sheng, D., H. Shin, and J.C. Santamarina. 2016. Formation and development of salt crusts on soil surfaces. **Acta Geotechnica** 11(5): 1103-1109.
- Sinanuwong, S. and Y. Takaya. 1974. Distribution of saline soils in the Khorat Basin of Thailand. **In South East Asian Studies** 12(3): 363-382.
- Soil Survey Staff. 2022. **Key to Soil Taxonomy.** 13th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington, DC.
- Sonmez, S., D. Buyuktas, F. Okturen, and S. Citak. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. **Geoderma** 144 (1-2): 361-369.

- Taghizadeh-Mehrjardi R., B. Minasny, F. Sarmadian, and B.P. Malone. 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. **Geoderma** 213: 15–28.
- USGS. 2022. **Landsat 9**. แหล่งที่มา: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>, มีนาคม 2568.
- Wadoux, A.M.J.C., B. Minasny, and A.B. McBratney. 2020. Machine Learning for Digital Soil Mapping: Applications, Challenges and Suggested Solutions. **Earth-Science Reviews** 210: 103359.
- Zhu Ruoqing, Zeng Donglin, and R.K. Michael 2015. Reinforcement learning trees. **Journal of the American Statistical Association** 110(512): 1770–1784.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก
ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รายจังหวัด

ตารางผนวกที่ 1 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดกาฬสินธุ์

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ	
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	621	0.001	0.025	saline-sodic 1
			30-50	241	0.000	0.010	saline-sodic 2
	รวม		862	0.001	0.035		
	ดินโซดิก	< 2	15-30	14,624	0.014	0.592	sodic 1
			30-50	585	0.001	0.024	sodic 2
		2-4	15-30	4,990	0.005	0.202	sodic 5
30-50			579	0.001	0.023	sodic 6	
รวม		20,778	0.020	0.841			
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	47,678	0.05	1.930	sodic 1
			30-50	2,712	0.003	0.110	sodic 2
			50-70	150	0.000	0.006	sodic 3
	2-4	15-30	2,612	0.002	0.106	sodic 5	
		30-50	514	0.000	0.021	sodic 6	
	รวม		53,666	0.051	2.173		
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	37,774	0.036	1.529	sodic 1
			30-50	12,606	0.012	0.510	sodic 2
			50-70	599	0.001	0.024	sodic 3
	2-4	15-30	292	0.000	0.012	sodic 5	
	รวม		51,271	0.049	2.076		

ตารางผนวกที่ 2 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดขอนแก่น

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของพื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	12,586	0.012	0.510	saline-sodic 1	
			30-50	13,331	0.013	0.540	saline-sodic 2	
			50-70	6,044	0.006	0.245	saline-sodic 3	
			>70	898	0.001	0.036	Saline-sodic 4	
		8-16	15-30	527	0.001	0.021	saline-sodic 5	
			30-50	874	0.001	0.035	saline-sodic 6	
			50-70	832	0.001	0.034	saline-sodic 7	
			>70	262	0.000	0.011	saline-sodic 8	
	รวม				35,353	0.034	1.431	
	ดินโซดิก	< 2	15-30	71,574	0.068	2.898	sodic 1	
			30-50	13,464	0.013	0.545	sodic 2	
			50-70	1,451	0.001	0.059	sodic 3	
			>70	14	0.000	0.001	sodic 4	
		2-4	15-30	39,554	0.038	1.601	sodic 5	
			30-50	12,634	0.012	0.512	sodic 6	
			50-70	4,228	0.004	0.171	sodic 7	
>70			323	0.000	0.013	sodic 8		
รวม				143,244	0.137	5.800		
25-50		ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	2,478	0.002	0.100	saline-sodic 1
				30-50	1,818	0.002	0.074	saline-sodic 2
				50-70	1,264	0.001	0.051	saline-sodic 3
	>70			806	0.001	0.033	saline-sodic 4	
	8-16		15-30	175	0.000	0.007	saline-sodic 5	
			30-50	455	0.000	0.018	saline-sodic 6	
			50-70	95	0.000	0.004	saline-sodic 7	
			>70	174	0.000	0.007	saline-sodic 8	
	รวม				7,264	0.007	0.294	

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของพื้นที่ ภาค	% ของพื้นที่ ที่ดินที่มี ผลกระทบ จากเกลือ		
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	151,805	0.145	6.146	sodic 1	
			30-50	50,067	0.048	2.027	sodic 2	
			50-70	5,940	0.006	0.240	sodic 3	
			>70	777	0.001	0.031	sodic 4	
	2-4	15-30	18,675	0.018	0.756	sodic 5		
		30-50	21,282	0.020	0.862	sodic 6		
		50-70	8,334	0.008	0.337	sodic 7		
		>70	1,883	0.002	0.076	sodic 8		
รวม				258,763	0.247	10.477		
50-100	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	167	0.000	0.007	saline-sodic 1	
			30-50	840	0.001	0.034	saline-sodic 2	
			50-70	1,531	0.001	0.062	saline-sodic 3	
			>70	241	0.000	0.010	saline-sodic 4	
	รวม				2,779	0.003	0.113	
	ดินโซดิก	< 2	15-30	137,878	0.132	5.582	sodic 1	
			30-50	77,718	0.074	3.147	sodic 2	
			50-70	19,766	0.019	0.800	sodic 3	
>70			3,140	0.003	0.127	sodic 4		
2-4		15-30	5,890	0.006	0.238	sodic 5		
		30-50	16,282	0.016	0.659	sodic 6		
		50-70	6,123	0.006	0.248	sodic 7		
		>70	1,659	0.002	0.067	sodic 8		
รวม				268,456	0.256	10.869		

ตารางผนวกที่ 3 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซเดียมของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดชัยภูมิ

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ	
0-25	ดินเค็มโซเดียม	4-8	15-30	31,990	0.031	1.295	saline-sodic 1
			30-50	17,688	0.017	0.716	saline-sodic 2
			50-70	5,850	0.006	0.237	saline-sodic 3
			>70	1,406	0.001	0.057	Saline-sodic 4
	8-16	15-30	6,902	0.007	0.279	saline-sodic 5	
		30-50	5,299	0.005	0.215	saline-sodic 6	
		50-70	1,181	0.001	0.048	saline-sodic 7	
		>70	382	0.000	0.015	saline-sodic 8	
	>16	15-30	150	0.000	0.006	saline-sodic 9	
		30-50	396	0.000	0.016	saline-sodic 10	
		50-70	150	0.000	0.006	saline-sodic 11	
รวม				71,394	0.068	2.891	
ดินโซเดียม	< 2	15-30	21,431	0.020	0.868	sodic 1	
		30-50	5,470	0.005	0.221	sodic 2	
		50-70	601	0.001	0.024	sodic 3	
		>70	108	0.000	0.004	sodic 4	
	2-4	15-30	28,072	0.027	1.137	sodic 5	
		30-50	10,225	0.010	0.414	sodic 6	
		50-70	1,263	0.001	0.051	sodic 7	
รวม				67,172	0.064	2.720	
25-50	ดินเค็มโซเดียม	4-8	15-30	10,618	0.010	0.430	saline-sodic 1
			30-50	10,348	0.010	0.419	saline-sodic 2
			50-70	2,559	0.002	0.104	saline-sodic 3
			>70	1,372	0.001	0.056	saline-sodic 4
	8-16	15-30	454	0.000	0.018	saline-sodic 5	
		30-50	983	0.001	0.040	saline-sodic 6	
		50-70	105	0.000	0.004	saline-sodic 7	
รวม				26,438	0.025	1.070	

ตารางที่ผนวกที่ 3 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของพื้นที่ ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ	
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	70,648	0.067	2.860	sodic 1
			30-50	26,506	0.025	1.073	sodic 2
			50-70	4,040	0.004	0.164	sodic 3
			>70	818	0.001	0.033	sodic 4
	2-4	15-30	36,711	0.035	1.486	sodic 5	
		30-50	27,843	0.027	1.127	sodic 6	
		50-70	7,783	0.007	0.315	sodic 7	
		>70	2,519	0.002	0.102	sodic 8	
รวม				176,869	0.169	7.161	
50-100	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	4,980	0.005	0.202	saline-sodic 1
			30-50	11,788	0.011	0.477	saline-sodic 2
			50-70	9,072	0.009	0.367	saline-sodic 3
			>70	1,328	0.001	0.054	saline-sodic 4
	8-16	15-30	150	0.000	0.006	saline-sodic 5	
		30-50	300	0.000	0.012	saline-sodic 6	
		50-70	600	0.001	0.024	saline-sodic 7	
		>70	150	0.000	0.006	saline-sodic 8	
รวม				28,369	0.027	1.149	
ดินโซดิก	< 2	15-30	49,186	0.047	1.991	sodic 1	
		30-50	42,472	0.041	1.720	sodic 2	
		50-70	10,507	0.010	0.425	sodic 3	
		>70	1,756	0.002	0.071	sodic 4	
	2-4	15-30	14,285	0.014	0.578	sodic 5	
		30-50	29,845	0.028	1.208	sodic 6	
		50-70	11,379	0.011	0.461	sodic 7	
		>70	1,102	0.001	0.045	sodic 8	
รวม				160,533	0.153	6.500	

ตารางผนวกที่ 4 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดนครพนม

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่มี ผลกระทบจากเกลือ	
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	312	0.000	0.013	saline-sodic 1
			30-50	65	0.000	0.003	saline-sodic 2
	รวม		377	0.000	0.015		
	ดินโซดิก	< 2	15-30	2,217	0.002	0.090	sodic 1
			30-50	31	0.000	0.001	sodic 2
			2-4	15-30	267	0.000	0.011
รวม		2,516	0.002	0.102			
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	4,211	0.004	0.170	sodic 1
			30-50	395	0.000	0.016	sodic 2
			2-4	15-30	177	0.000	0.007
	รวม		4,782	0.005	0.194		
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	7,813	0.007	0.316	sodic 1
			30-50	1,156	0.001	0.047	sodic 2
	รวม		8,969	0.009	0.363		

ตารางผนวกที่ 5 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซเดียมของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่		
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ			
0-25	ดินเค็มโซเดียม	4-8	15-30	104,172	0.099	4.218	saline-sodic 1		
			30-50	139,047	0.133	5.630	saline-sodic 2		
			50-70	43,999	0.042	1.781	saline-sodic 3		
			>70	24,426	0.023	0.989	Saline-sodic 4		
		8-16	15-30	12,173	0.012	0.493	saline-sodic 5		
			30-50	12,458	0.012	0.504	saline-sodic 6		
			50-70	9,155	0.009	0.371	saline-sodic 7		
			>70	13,282	0.013	0.538	saline-sodic 8		
		>16	15-30	1,833	0.002	0.074	saline-sodic 9		
			30-50	1,782	0.002	0.072	saline-sodic 10		
			50-70	766	0.001	0.031	saline-sodic 11		
			>70	3,054	0.003	0.124	saline-sodic 12		
รวม				366,148	0.349	14.824			
ดินโซเดียม	< 2	15-30	15-30	281,451	0.268	11.395	sodic 1		
			30-50	52,520	0.050	2.126	sodic 2		
			50-70	5,639	0.005	0.228	sodic 3		
			>70	1,200	0.001	0.049	sodic 4		
		2-4	15-30	244,556	0.233	9.902	sodic 5		
			30-50	111,153	0.106	4.500	sodic 6		
			50-70	20,395	0.019	0.826	sodic 7		
			>70	4,403	0.004	0.178	sodic 8		
		รวม				721,317	0.688	29.204	

ตารางที่ผนวกที่ 5 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่		ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของพื้นที่ ภาค ที่มีผลกระทบจาก เกลือ		
25-50	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	24,730	0.024	1.001	saline-sodic 1
			30-50	29,865	0.028	1.209	saline-sodic 2
			50-70	13,720	0.013	0.555	saline-sodic 3
			>70	8,562	0.008	0.347	saline-sodic 4
	8-16	15-30	915	0.001	0.037	saline-sodic 5	
		30-50	2,676	0.003	0.108	saline-sodic 6	
		50-70	1,614	0.002	0.065	saline-sodic 7	
		>70	1,936	0.002	0.078	saline-sodic 8	
รวม				84,018	0.080	3.402	
ดินโซดิก	< 2	15-30	603,713	0.576	24.443	sodic 1	
			30-50	156,468	0.149	6.335	sodic 2
			50-70	16,928	0.016	0.685	sodic 3
			>70	6,861	0.007	0.278	sodic 4
	2-4	15-30	233,880	0.223	9.469	sodic 5	
		30-50	177,177	0.169	7.173	sodic 6	
		50-70	40,867	0.039	1.655	sodic 7	
		>70	27,231	0.026	1.103	sodic 8	
รวม				1,263,124	1.205	51.141	

ตารางที่ผนวกที่ 5 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของพื้นที่ ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ	
50-100	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	14,356	0.014	0.581	saline-sodic 1
			30-50	28,959	0.028	1.172	saline-sodic 2
			50-70	28,442	0.027	1.152	saline-sodic 3
			>70	17,024	0.016	0.689	saline-sodic 4
	8-16	15-30	775	0.001	0.031	saline-sodic 5	
		30-50	3,090	0.003	0.125	saline-sodic 6	
		50-70	3,378	0.003	0.137	saline-sodic 7	
		>70	1,897	0.002	0.077	saline-sodic 8	
รวม				97,923	0.093	3.965	
ดินโซดิก	< 2	15-30	15-30	567,796	0.542	22.989	sodic 1
			30-50	224,306	0.214	9.082	sodic 2
			50-70	42,021	0.040	1.701	sodic 3
			>70	4,437	0.004	0.180	sodic 4
	2-4	15-30	108,909	0.104	4.409	sodic 5	
		30-50	129,292	0.123	5.235	sodic 6	
		50-70	36,100	0.034	1.462	sodic 7	
		>70	12,700	0.012	0.514	sodic 8	
รวม				1,125,561	1.074	45.571	

ตารางผนวกที่ 6 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดบึงกาฬ

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ	
0-25	ดินโซดิก	< 2	15-30	144	0.000	0.006	sodic 1
		2-4	15-30	56	0.000	0.002	sodic 5
	รวม			201	0.000	0.008	
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	777	0.001	0.031	sodic 1
		2-4	15-30	83	0.000	0.003	sodic 5
	รวม			860	0.001	0.035	
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	102	0.000	0.004	sodic 1
	รวม			102	0.000	0.004	

ตารางผนวกที่ 7 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดบุรีรัมย์

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ		
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	321	0.000	0.013	saline-sodic 1	
			30-50	56	0.000	0.002	saline-sodic 2	
		รวม		377	0.000	0.015		
	ดินโซดิก	< 2	15-30	17,151	0.016	0.694	sodic 1	
			30-50	1,386	0.001	0.056	sodic 2	
		2-4	15-30	1,215	0.001	0.049	sodic 5	
			30-50	478	0.000	0.019	sodic 6	
			รวม		20,230	0.019	0.819	
		25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	47,712	0.046	1.932
	30-50				5,480	0.005	0.222	sodic 2
50-70	150				0.000	0.006	sodic 3	
2-4	15-30		1,355	0.001	0.055	sodic 5		
	30-50		626	0.001	0.025	sodic 6		
	รวม			55,323	0.053	2.240		
50-100	ดินโซดิก		< 2	15-30	49,316	0.047	1.997	sodic 1
				30-50	13,240	0.013	0.536	sodic 2
				50-70	390	0.000	0.016	sodic 3
				2-4	15-30	171	0.000	0.007
		30-50			5	0.000	0.000	sodic 6
				รวม		63,123	0.060	2.556

ตารางผนวกที่ 8 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดมหาสารคาม

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่		
				ไร่	% ของพื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ			
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	1,491	0.001	0.060	saline-sodic 1		
			30-50	344	0.000	0.014	saline-sodic 2		
			รวม	1,835	0.002	0.074			
	ดินโซดิก	< 2	15-30	44,608	0.043	1.806	sodic 1		
			30-50	6,702	0.006	0.271	sodic 2		
			50-70	671	0.001	0.027	sodic 3		
		2-4	15-30	5,053	0.005	0.205	sodic 5		
			30-50	1,900	0.002	0.077	sodic 6		
			50-70	298	0.000	0.012	sodic 7		
		รวม	59,232	0.057	2.398				
		25-50	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	508	510	0.000	saline-sodic 1
					30-50	333	334	0.000	saline-sodic 2
	30-50				98	0.000	0.004	saline-sodic 6	
	รวม				942	0.001	0.038		
ดินโซดิก	< 2		15-30	121,598	0.116	4.923	sodic 1		
			30-50	16,801	0.016	0.680	sodic 2		
			50-70	1,760	0.002	0.071	sodic 3		
			>70	150	0.000	0.006	sodic 4		
	2-4		15-30	1,203	0.001	0.049	sodic 5		
			30-50	1,237	0.001	0.050	sodic 6		
			50-70	1,124	0.001	0.046	sodic 7		
	รวม		143,873	0.137	5.825				

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของพื้นที่ ภาค	% ของพื้นที่ ที่ดินที่มี ผลกระทบ จากเกลือ	
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	98,523	0.094	3.989	sodic 1
			30-50	23,537	0.022	0.953	sodic 2
			50-70	1,310	0.001	0.053	sodic 3
			>70	240	0.000	0.010	sodic 4
		2-4	15-30	201	0.000	0.008	sodic 5
			30-50	616	0.001	0.025	sodic 6
			50-70	509	0.000	0.021	sodic 7
			>70	156	0.000	0.006	sodic 8
	รวม		125,091	0.119	5.065		

ตารางผนวกที่ 9 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดยโสธร

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ	
0-25	ดินโซดิก	< 2	15-30	4,942	0.005	0.200	sodic 1
			30-50	2,787	0.003	0.113	sodic 2
			50-70	301	0.000	0.012	sodic 3
			>70	151	0.000	0.006	sodic 4
			รวม	8,181	0.008	0.331	
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	15,711	0.015	0.636	sodic 1
			30-50	3,235	0.003	0.131	sodic 2
			50-70	603	0.001	0.024	sodic 3
			รวม	19,548	0.019	0.791	
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	11,792	0.011	0.477	sodic 1
			30-50	6,691	0.006	0.271	sodic 2
			50-70	398	0.000	0.016	sodic 3
			รวม	18,881	0.018	0.764	

ตารางผนวกที่ 10 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดร้อยเอ็ด

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่		
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ			
0-25	ดินโซดิก	< 2	15-30	104,475	0.100	4.230	sodic 1		
			30-50	19,396	0.019	0.785	sodic 2		
			50-70	2,750	0.003	0.111	sodic 3		
			>70	451	0.000	0.018	sodic 4		
		2-4	15-30	749	0.001	0.030	sodic 5		
			30-50	273	0.000	0.011	sodic 6		
		รวม				128,095	0.122	5.186	
		25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	161,574	0.154	6.542	sodic 1
30-50	39,055				0.037	1.581	sodic 2		
50-70	4,353				0.004	0.176	sodic 3		
>70	451				0.000	0.018	sodic 4		
2-4	15-30			425	0.000	0.017	sodic 5		
	30-50			97	0.000	0.004	sodic 6		
50-70	38			0.000	0.002	sodic 7			
รวม				205,994	0.197	8.340			
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	164,735	0.157	6.670	sodic 1		
			30-50	40,921	0.039	1.657	sodic 2		
			50-70	1,459	0.001	0.059	sodic 3		
			รวม				207,114	0.198	8.386

ตารางผนวกที่ 11 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดเลย

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของพื้นที่ ภาค	% ของพื้นที่ ที่ดินที่มี ผลกระทบ จากเกลือ	
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	1,034	0.001	0.042	sodic 1
	รวม			1,034	0.001	0.042	

ตารางผนวกที่ 12 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดศรีสะเกษ

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ		
0-25	ดินโซดิก	< 2	15-30	2,096	0.002	0.085	sodic 1	
			30-50	254	0.000	0.010	sodic 2	
			2-4	15-30	73	0.000	0.003	sodic 5
			รวม	2,424	0.002	0.098		
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	4,187	0.004	0.170	sodic 1	
			30-50	1,685	0.002	0.068	sodic 2	
			รวม	5,872	0.006	0.238		
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	5,084	0.005	0.206	sodic 1	
			30-50	781	0.001	0.032	sodic 2	
			50-70	1,117	0.001	0.045	sodic 3	
			>70	151	0.000	0.006	sodic 4	
			รวม	7,133	0.007	0.289		

ตารางผนวกที่ 13 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดสกลนคร

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ		
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	955	0.001	0.039	saline-sodic 1	
			30-50	709	0.001	0.029	saline-sodic 2	
			50-70	82	0.000	0.003	saline-sodic 3	
		8-16	15-30	328	0.000	0.013	saline-sodic 5	
	รวม			2,074	0.002	0.084		
ดินโซดิก	< 2	15-30	15-30	17,684	0.017	0.716	sodic 1	
			30-50	1,042	0.001	0.042	sodic 2	
			50-70	67	0.000	0.003	sodic 3	
	2-4	15-30	15-30	6,683	0.006	0.271	sodic 5	
			30-50	385	0.000	0.016	sodic 6	
		รวม			25,861	0.025	1.047	
25-50	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	1,313	0.001	0.053	saline-sodic 1	
			30-50	107	0.000	0.004	saline-sodic 2	
		8-16	15-30	15-30	298	0.000	0.012	saline-sodic 5
	รวม			1,718	0.002	0.070		
ดินโซดิก	< 2	15-30	15-30	21,132	0.020	0.856	sodic 1	
			30-50	3,108	0.003	0.126	sodic 2	
			50-70	428	0.000	0.017	sodic 3	
	2-4	15-30	15-30	6,891	0.007	0.279	sodic 5	
			30-50	875	0.001	0.035	sodic 6	
			50-70	582	0.001	0.024	sodic 7	
		รวม			33,017	0.031	1.337	

ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ	
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	33,838	0.032	1.370	sodic 1
			30-50	8,384	0.008	0.339	sodic 2
			50-70	1,745	0.002	0.071	sodic 3
			2-4	15-30	1,230	0.001	0.050
		30-50	390	0.000	0.016	sodic 6	
		50-70	386	0.000	0.016	sodic 7	
		>70	1,230	0.001	0.050	sodic 8	
		รวม			45,975	0.044	1.861

ตารางผนวกที่ 14 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดสุรินทร์

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ		
0-25	ดินโซดิก	< 2	15-30	30,693	0.029	1.243	sodic 1	
			30-50	4,317	0.004	0.175	sodic 2	
			50-70	905	0.001	0.037	sodic 3	
			>70	151	0.000	0.006	sodic 4	
			2-4	15-30	533	0.001	0.022	sodic 5
	รวม			36,598	0.035	1.482		
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	60,391	0.058	2.445	sodic 1	
			30-50	10,289	0.010	0.417	sodic 2	
			50-70	678	0.001	0.027	sodic 3	
			2-4	15-30	369	0.000	0.015	sodic 5
			30-50	1	0.000	0.000	sodic 6	
			รวม		71,729	0.068	2.904	
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	50,849	0.049	2.059	sodic 1	
			30-50	7,498	0.007	0.304	sodic 2	
			50-70	302	0.000	0.012	sodic 3	
			รวม	58,649	0.056	2.375		

ตารางผนวกที่ 15 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดหนองคาย

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ		
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	542	0.001	0.022	saline-sodic 1	
			30-50	266	0.000	0.011	saline-sodic 2	
	รวม		807	0.001	0.033			
	ดินโซดิก	< 2	15-30	1,788	0.002	0.072	sodic 1	
			2-4	15-30	2,692	0.003	0.109	sodic 5
			30-50	56	0.000	0.002	sodic 6	
รวม		4,536	0.004	0.184				
25-50	ดินเค็มโซดิก	4-8	>70	298	0.000	0.012	saline-sodic 4	
	รวม			298	0.000	0.012		
	ดินโซดิก	< 2	15-30	5,963	0.006	0.241	sodic 1	
			30-50	244	0.000	0.010	sodic 2	
		2-4	15-30	2,034	0.002	0.082	sodic 5	
			30-50	244	0.000	0.010	sodic 6	
		รวม		8,485	0.008	0.344		
		ดินโซดิก	< 2	15-30	4,916	0.005	0.199	sodic 1
	30-50			3,513	0.003	0.142	sodic 2	
	50-70			765	0.001	0.031	sodic 3	
	>70			126	0.000	0.005	sodic 4	
	2-4		15-30	30	0.000	0.001	sodic 5	
			30-50	185	0.000	0.007	sodic 6	
			50-70	79	0.000	0.003	sodic 7	
>70			172	0.000	0.007	sodic 8		
รวม		9,786	0.009	0.396				

ตารางผนวกที่ 16 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดอำนาจเจริญ

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ		
0-25	ดินโซดิก	< 2	15-30	11,303	0.011	0.458	sodic 1	
			30-50	2,125	0.002	0.086	sodic 2	
		2-4	15-30	22	0.000	0.001	sodic 5	
			30-50	81	0.000	0.003	sodic 6	
		รวม			13,531	0.013	0.548	
25-50	ดินโซดิก	< 2	15-30	28,704	0.027	1.162	sodic 1	
			30-50	7,273	0.007	0.294	sodic 2	
			50-70	151	0.000	0.006	sodic 3	
		รวม			36,128	0.034	1.463	
50- 100	ดินโซดิก	< 2	15-30	20,920	0.020	0.847	sodic 1	
			30-50	17,223	0.016	0.697	sodic 2	
			50-70	2,058	0.002	0.083	sodic 3	
		รวม			40,201	0.038	1.628	

ตารางผนวกที่ 17 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดอุดรธานี

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่	
				ไร่	% ของพื้นที่ ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ		
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	16,229	0.015	0.657	saline-sodic 1	
			30-50	4,989	0.005	0.202	saline-sodic 2	
			50-70	1,143	0.001	0.046	saline-sodic 3	
			>70	149	0.000	0.006	Saline-sodic 4	
	8-16	15-30	1,348	0.001	0.055	saline-sodic 5		
		30-50	453	0.000	0.018	saline-sodic 6		
	รวม				24,311	0.023	0.984	
	ดินโซดิก	< 2	15-30	18,394	0.018	0.745	sodic 1	
			30-50	3,199	0.003	0.130	sodic 2	
			50-70	196	0.000	0.008	sodic 3	
2-4		15-30	18,039	0.017	0.730	sodic 5		
		30-50	5,757	0.005	0.233	sodic 6		
		50-70	542	0.001	0.022	sodic 7		
รวม				46,127	0.044	1.868		
25-50	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	2,032	0.002	0.082	saline-sodic 1	
			30-50	1,358	0.001	0.055	saline-sodic 2	
			50-70	302	0.000	0.012	saline-sodic 3	
			>70	681	0.001	0.028	saline-sodic 4	
	รวม				4,468	0.004	0.181	
	ดินโซดิก	< 2	15-30	64,469	0.062	2.610	sodic 1	
			30-50	19,138	0.018	0.775	sodic 2	
			50-70	2,610	0.002	0.106	sodic 3	
			>70	934	0.001	0.038	sodic 4	
		2-4	15-30	16,424	0.016	0.665	sodic 5	
30-50			11,556	0.011	0.468	sodic 6		
50-70			4,255	0.004	0.172	sodic 7		
>70			932	0.001	0.038	sodic 8		
รวม				120,318	0.115	4.871		

ตารางผนวกที่ 17 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของพื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	
50-100	ดินเค็มโซดิก	4-8	30-50	149	0.000	0.006	saline-sodic 2
			50-70	400	0.000	0.016	saline-sodic 3
	รวม			548	0.000	0.022	
	ดินโซดิก	< 2	15-30	45,999	0.044	1.862	sodic 1
			30-50	32,060	0.031	1.298	sodic 2
			50-70	6,712	0.006	0.272	sodic 3
			>70	1,188	0.001	0.048	sodic 4
		2-4	15-30	6,568	0.006	0.266	sodic 5
			30-50	10,578	0.010	0.428	sodic 6
			50-70	3,825	0.004	0.155	sodic 7
			>70	1,789	0.002	0.072	sodic 8
	รวม			108,720	0.104	4.402	

ตารางผนวกที่ 18 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซเดียมของดิน
แบบลักษณะต่าง ๆ ของจังหวัดอุบลราชธานี

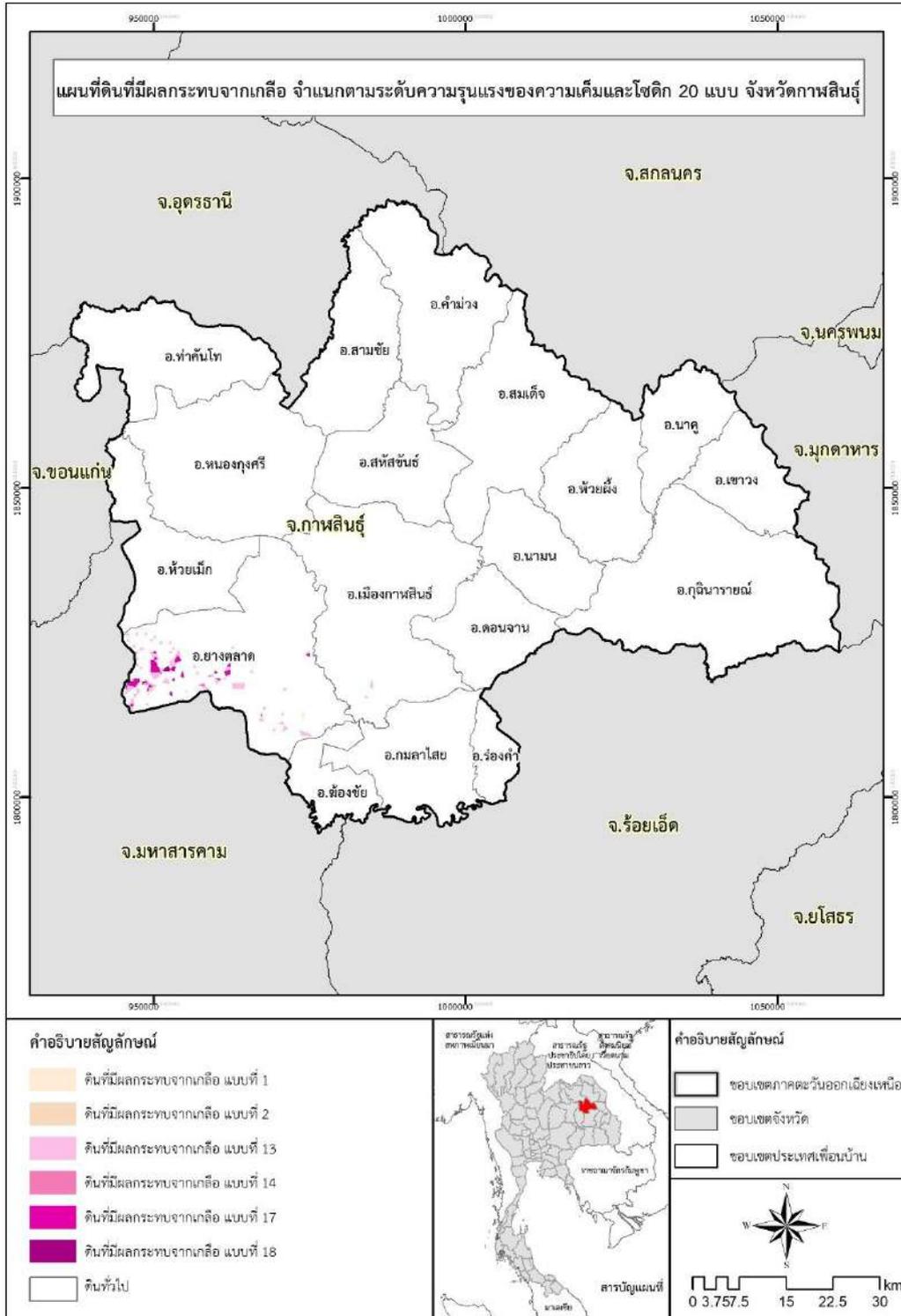
ความลึก (cm)	ประเภท	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	เนื้อที่			ลักษณะ/แบบที่
				ไร่	% ของ พื้นที่ภาค	% ของพื้นที่ดินที่ มีผลกระทบจาก เกลือ	
0-25	ดินโซเดียม	< 2	15-30	12,893	0.012	0.522	sodic 1
			30-50	1,057	0.001	0.043	sodic 2
			2-4	15-30	76	0.000	0.003
	รวม			14,026	0.013	0.568	
25-50	ดินโซเดียม	< 2	15-30	37,993	0.036	1.538	sodic 1
			30-50	5,803	0.006	0.235	sodic 2
			50-70	151	0.000	0.006	sodic 3
			2-4	15-30	5	0.000	0.000
	30-50	67	0.000	0.003	sodic 6		
รวม			44,019	0.042	1.782		
50-100	ดินโซเดียม	< 2	15-30	28,422	0.027	1.151	sodic 1
			30-50	14,989	0.014	0.607	sodic 2
			50-70	1,103	0.001	0.045	sodic 3
	รวม			44,514	0.042	1.802	

หมายเหตุ

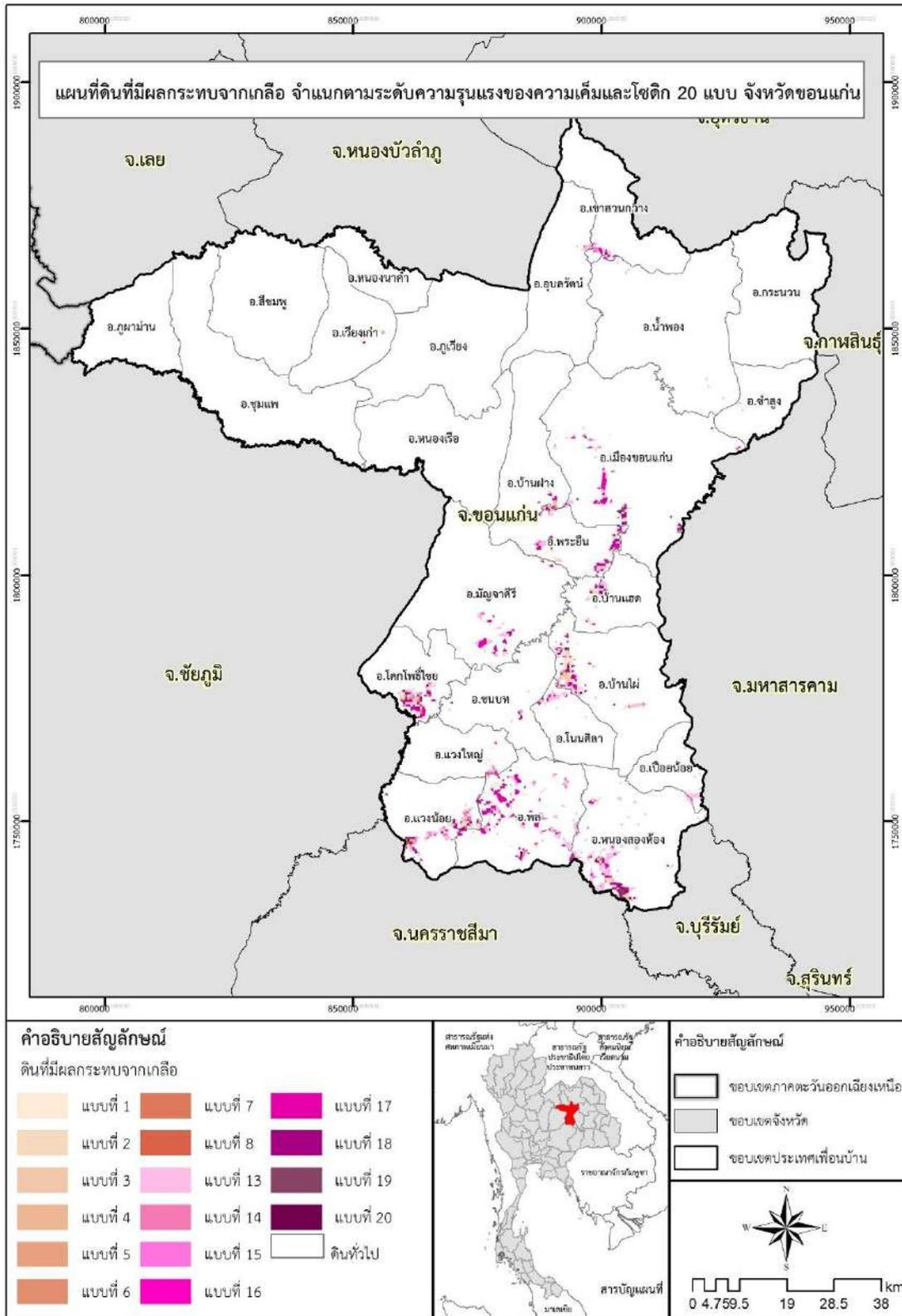
ไม่พบดินที่มีผลกระทบจากเกลือในจังหวัดมุกดาหารและหนองบัวลำภู

ภาคผนวก ข

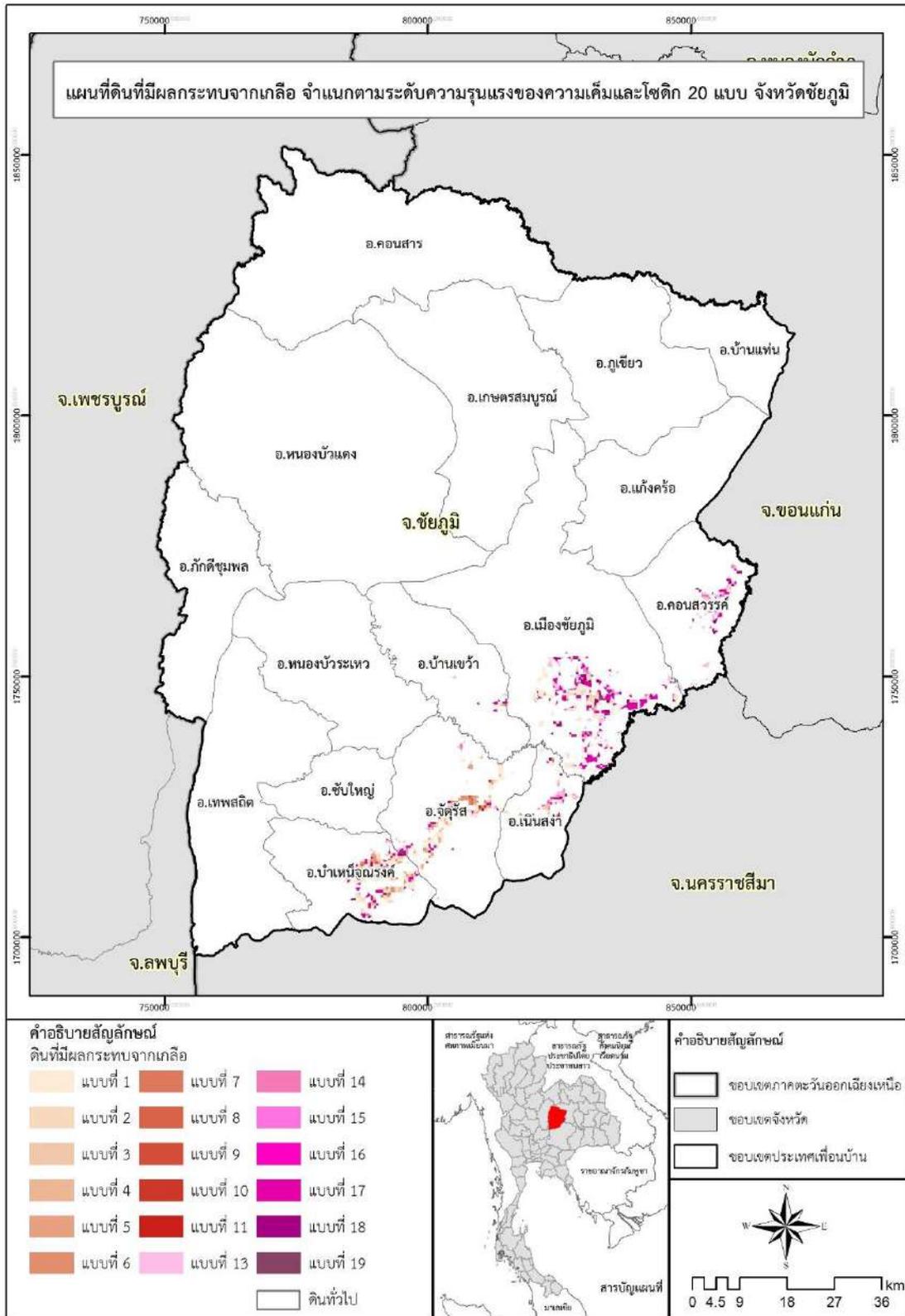
แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รายจังหวัด



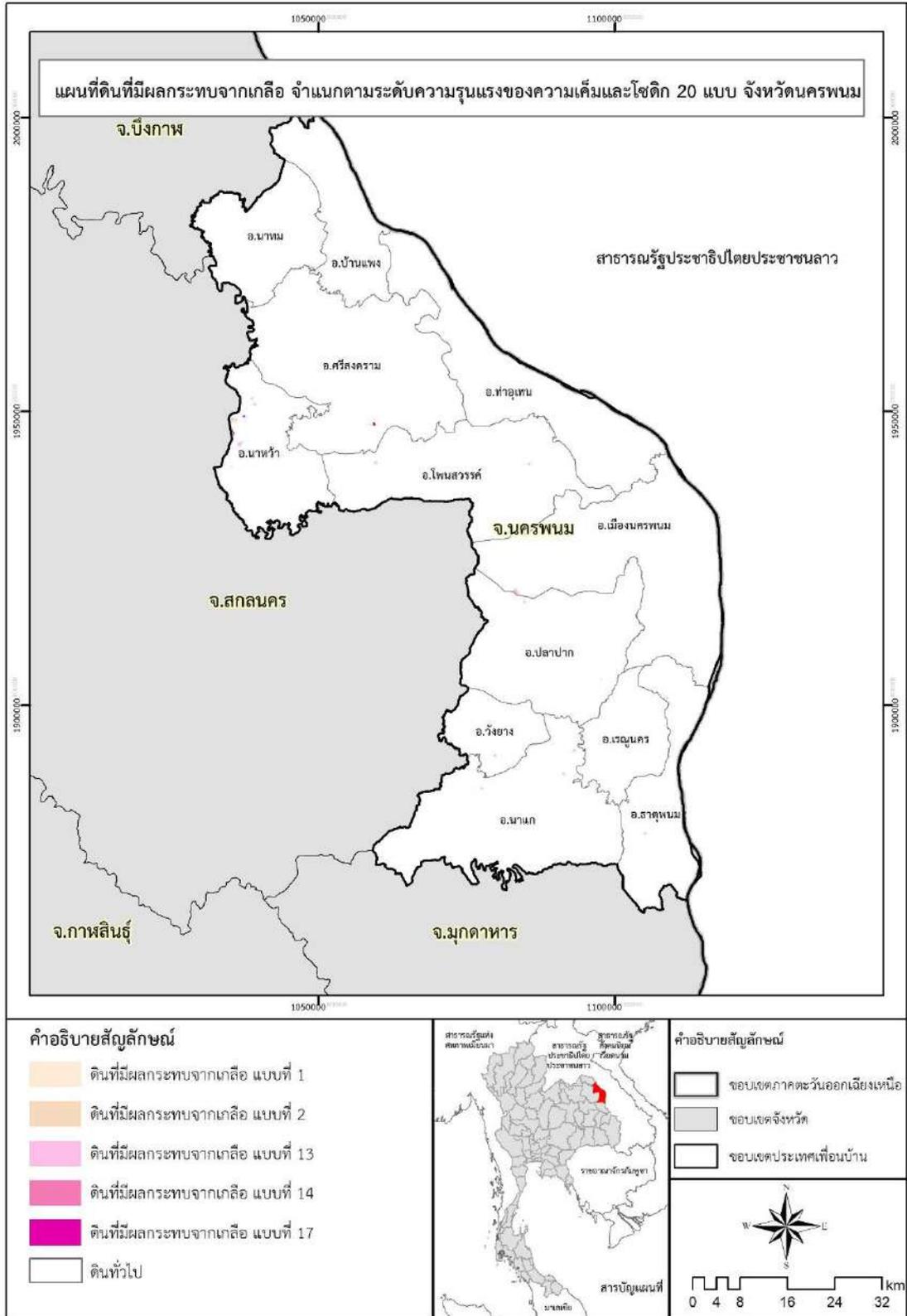
ภาพภาคผนวกที่ 1 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดกาฬสินธุ์



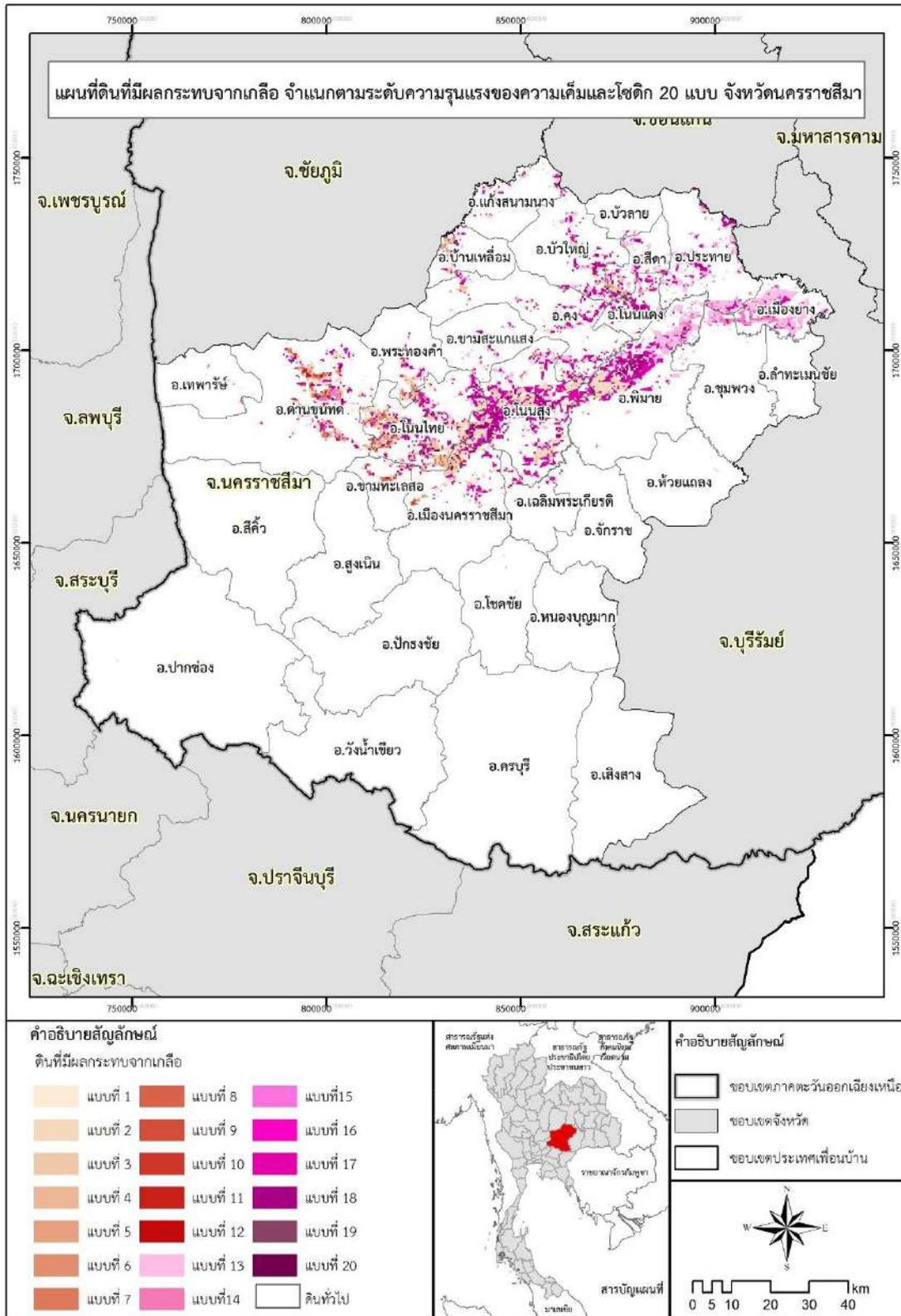
ภาพภาคผนวกที่ 2 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดขอนแก่น



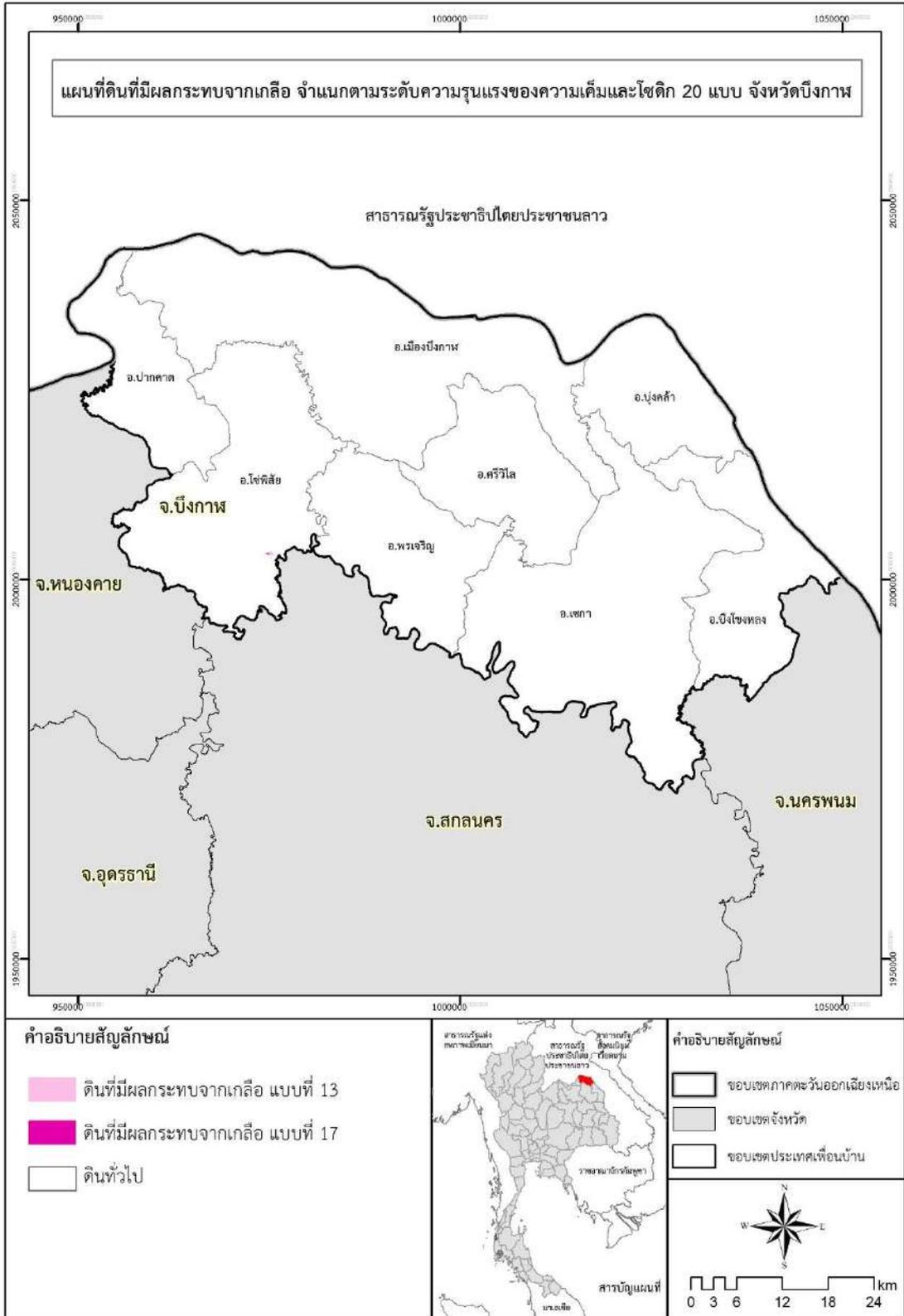
ภาพภาคผนวกที่ 3 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดชัยภูมิ



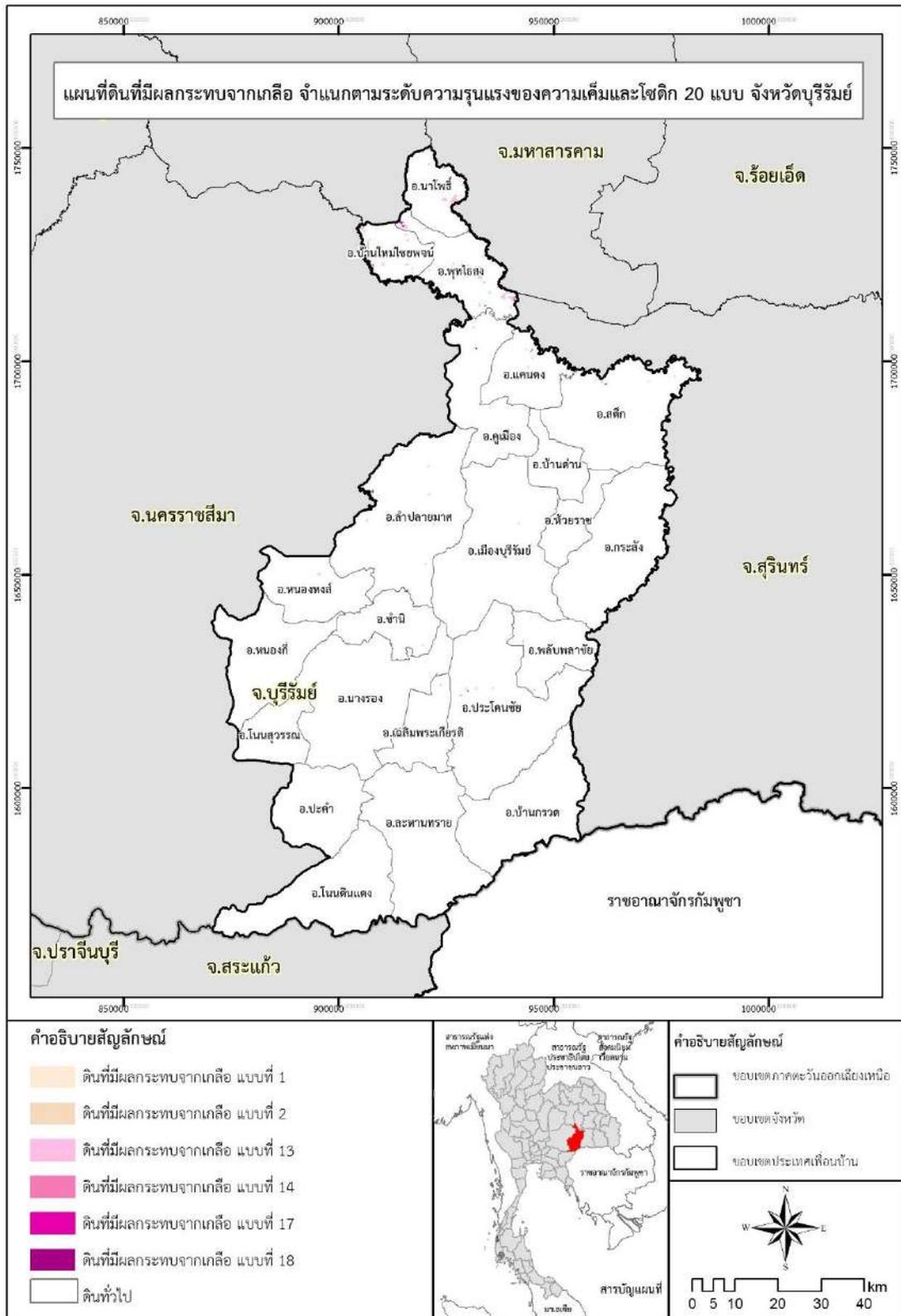
ภาพภาคผนวกที่ 4 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดนครพนม



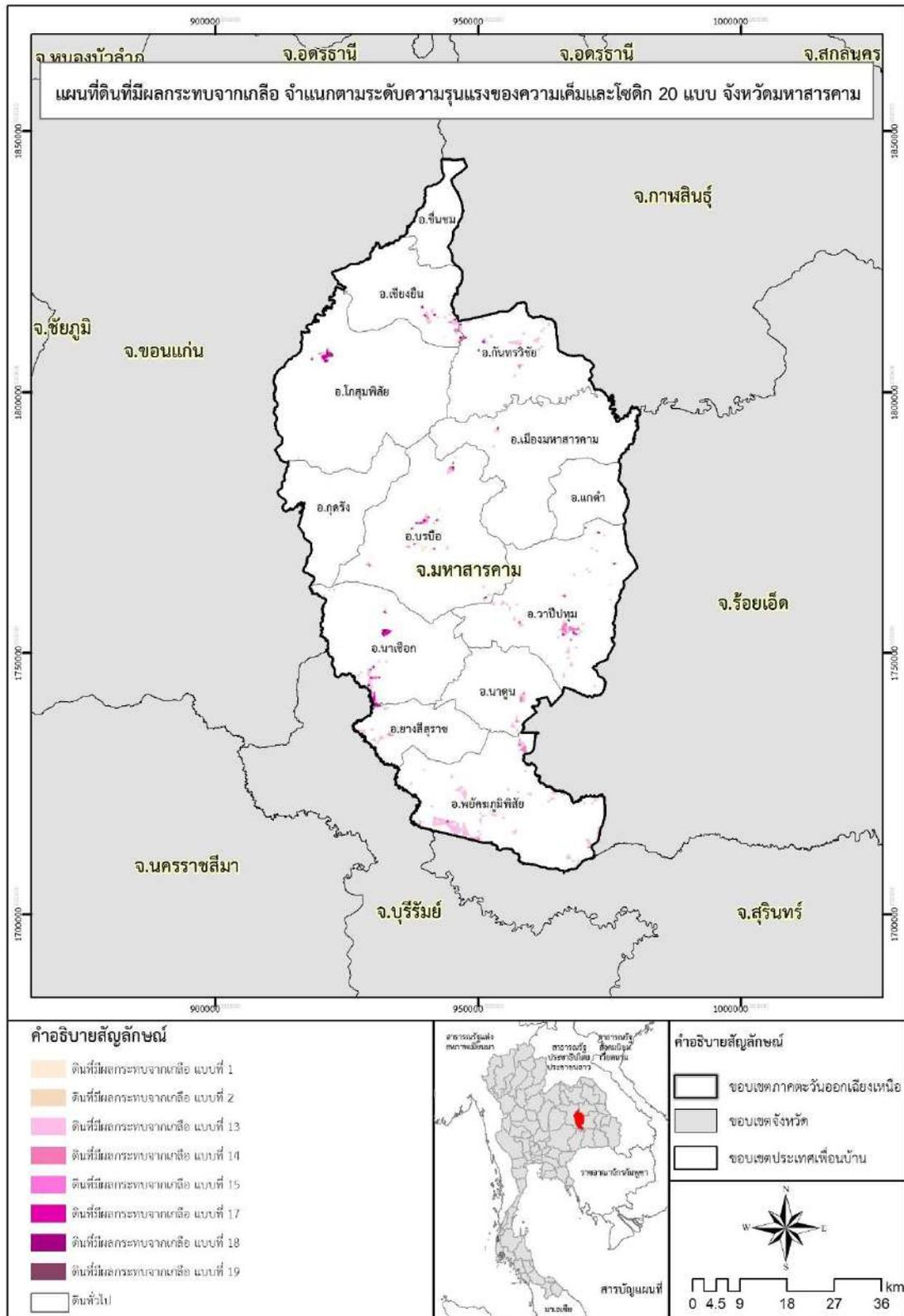
ภาพภาคผนวกที่ 5 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดนครราชสีมา



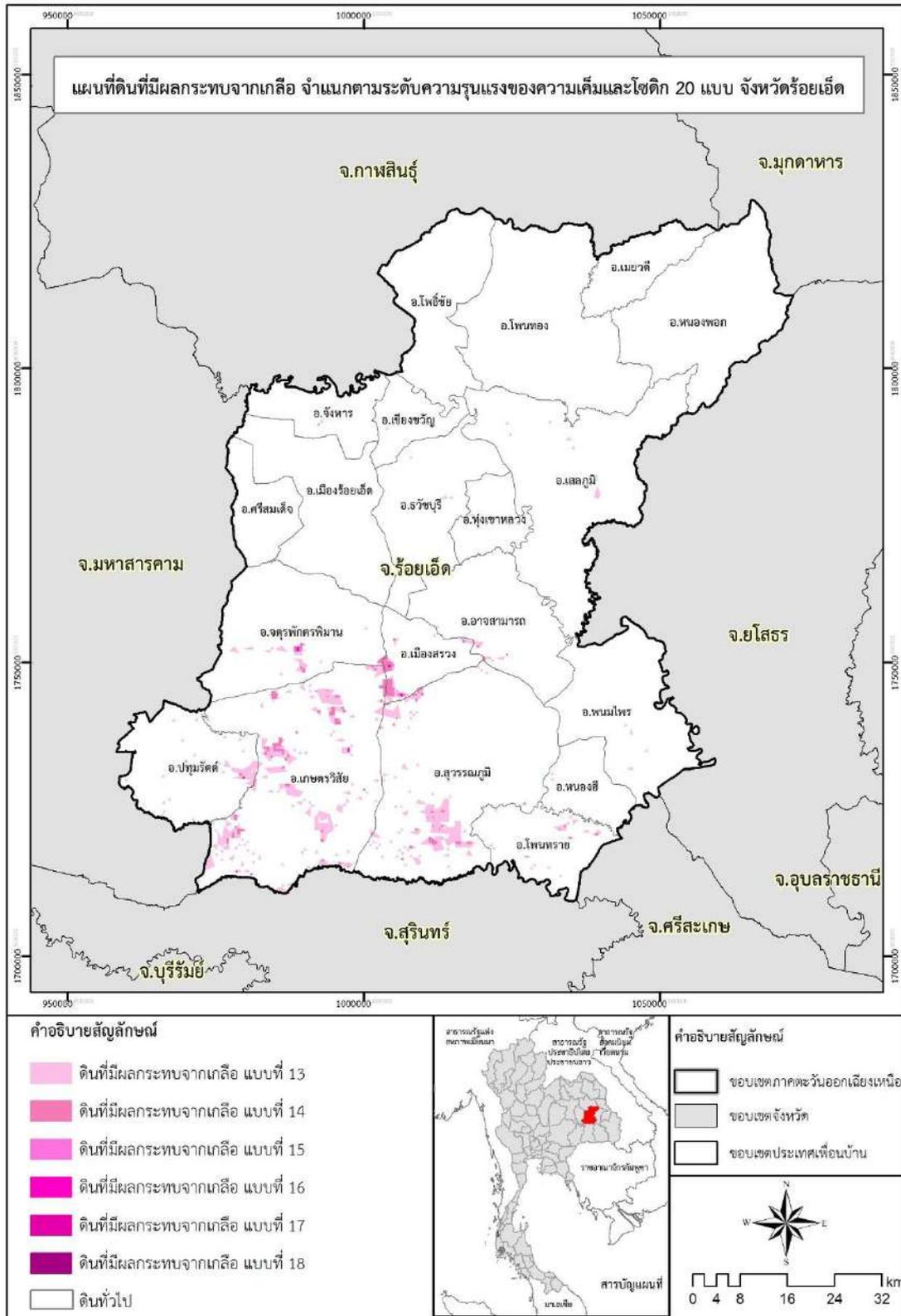
ภาพภาคผนวกที่ 6 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดบึงกาฬ



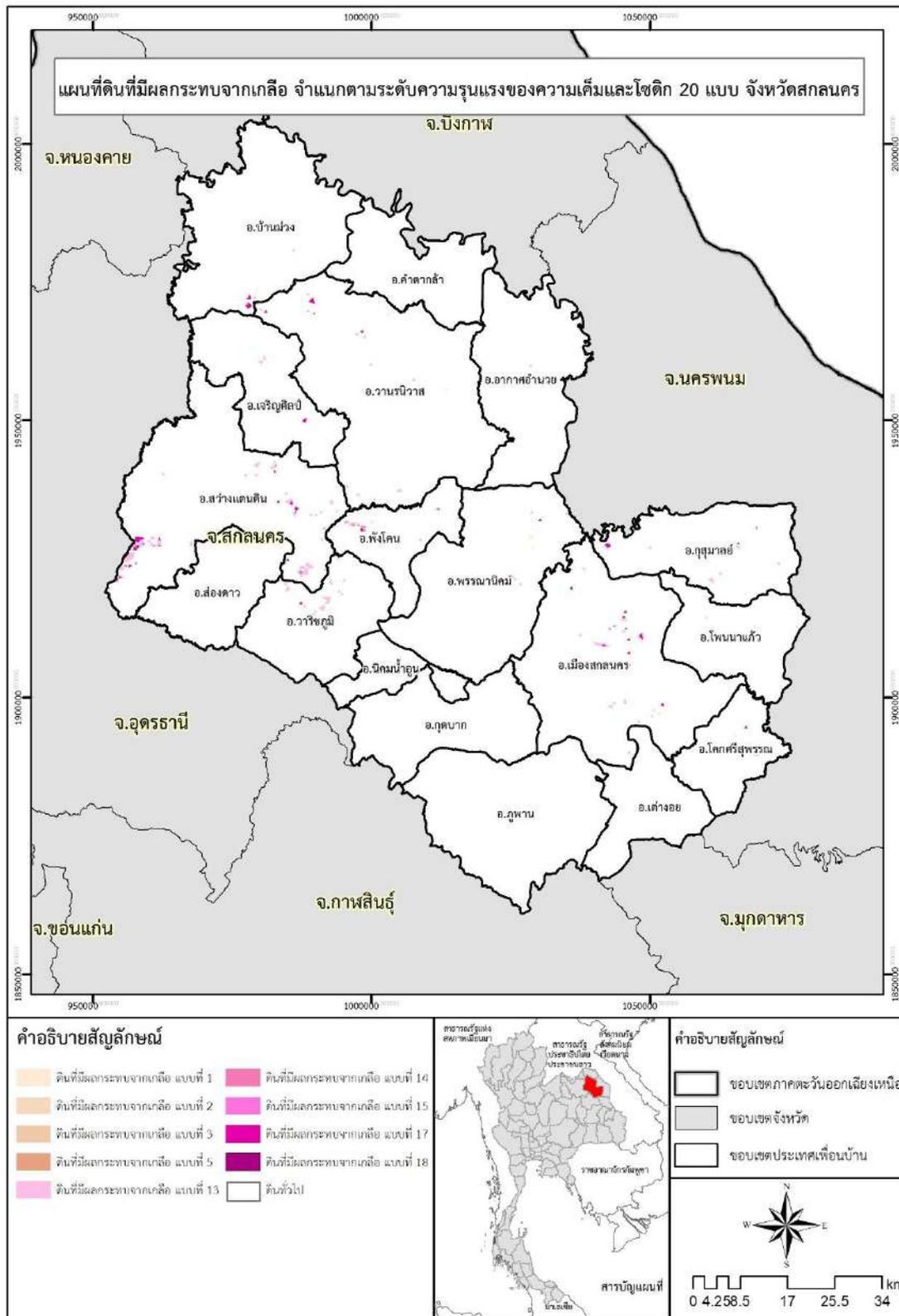
ภาพภาคผนวกที่ 7 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดบุรีรัมย์



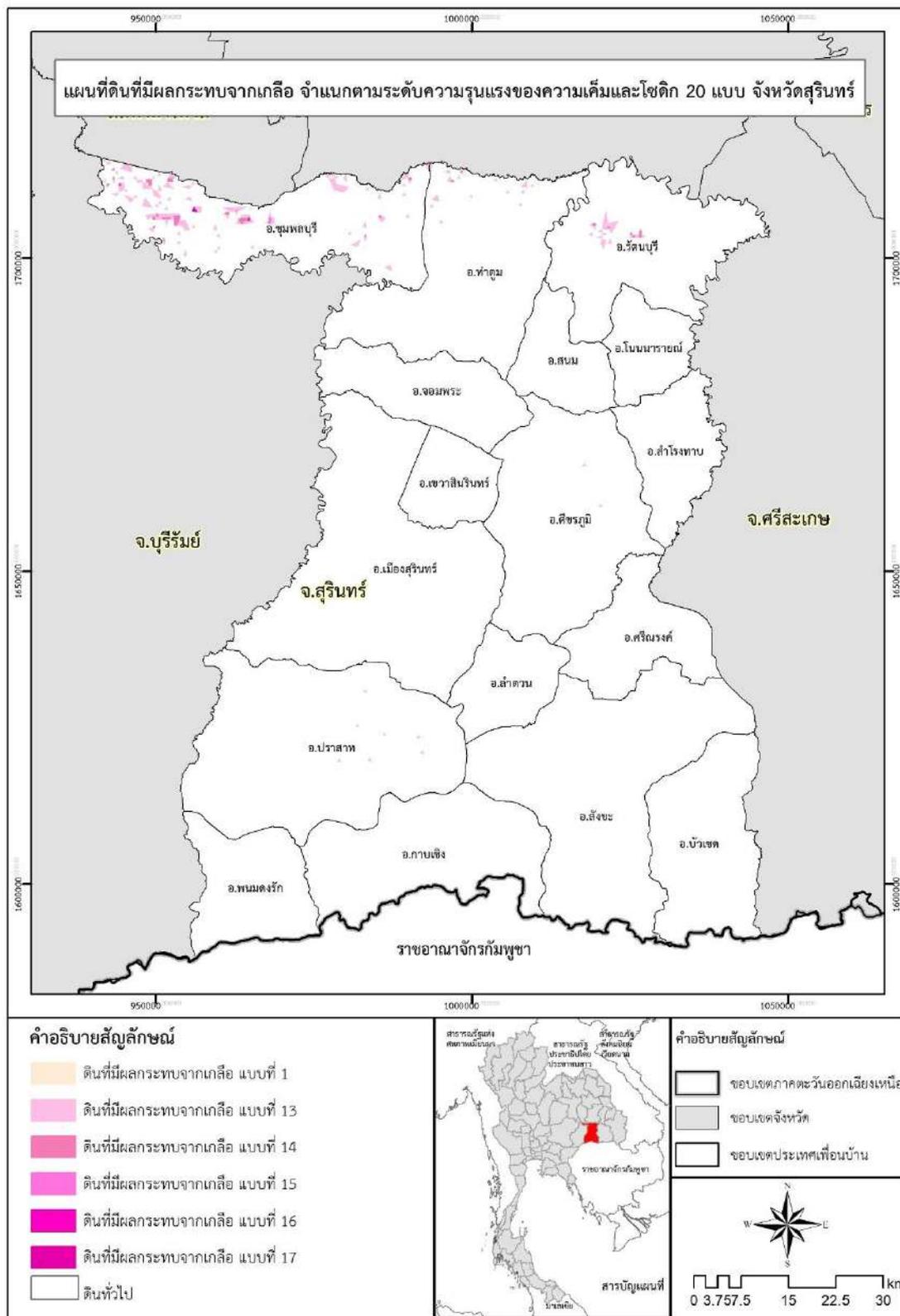
ภาพภาคผนวกที่ 8 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดมหาสารคาม



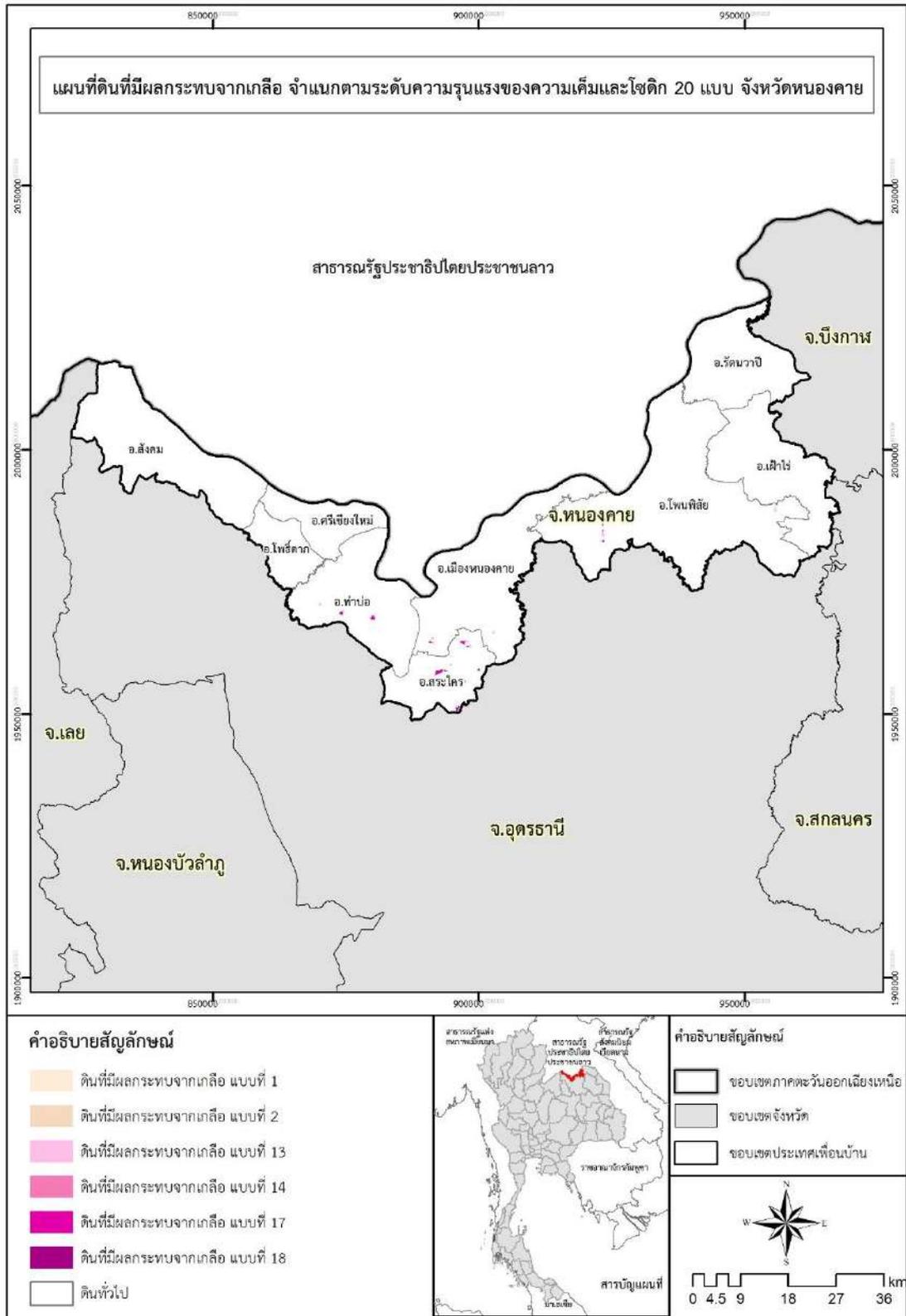
ภาพภาคผนวกที่ 9 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดยโสธร



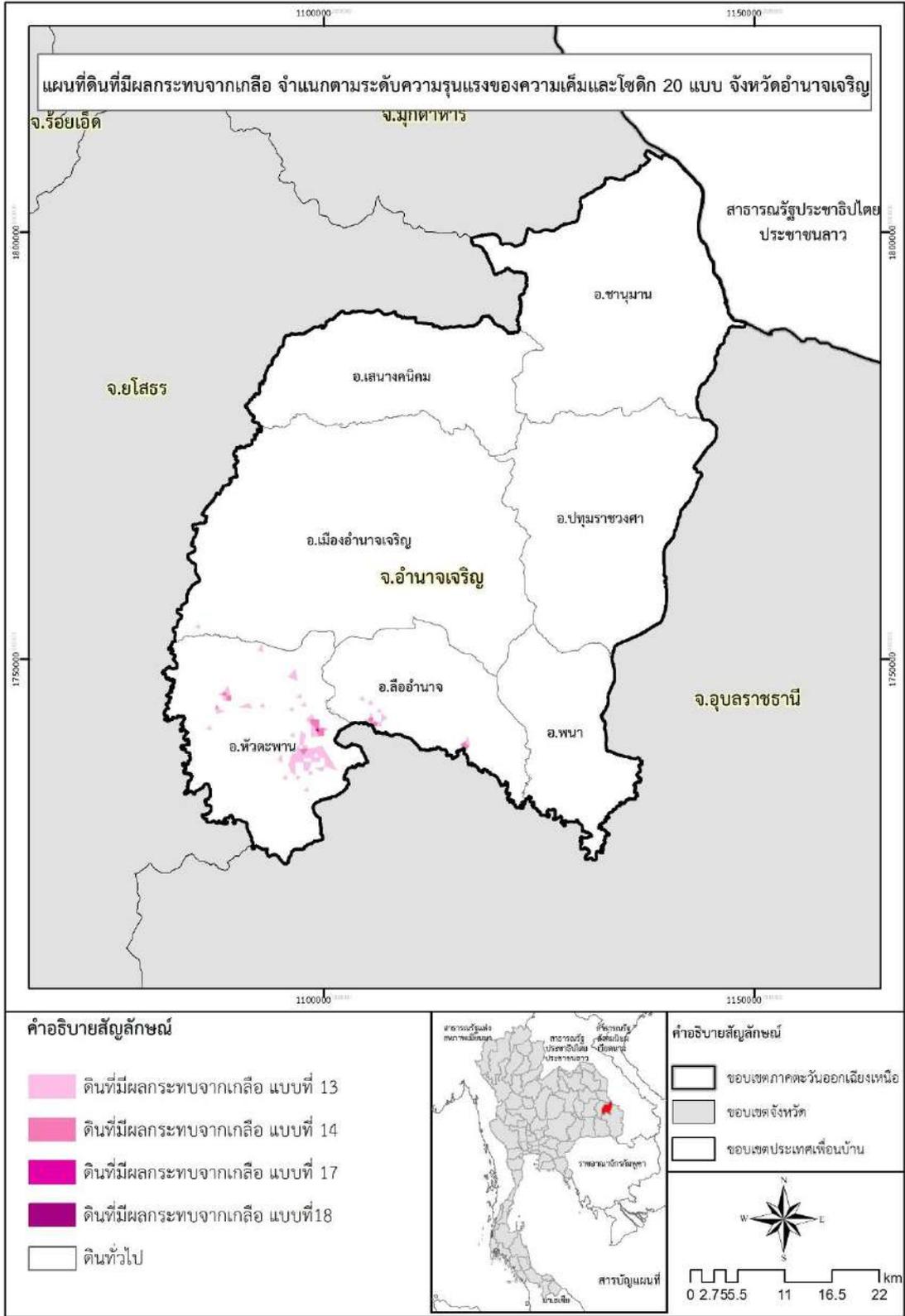
ภาพภาคผนวกที่ 12 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและไซติก จังหวัดสุพรรณบุรี



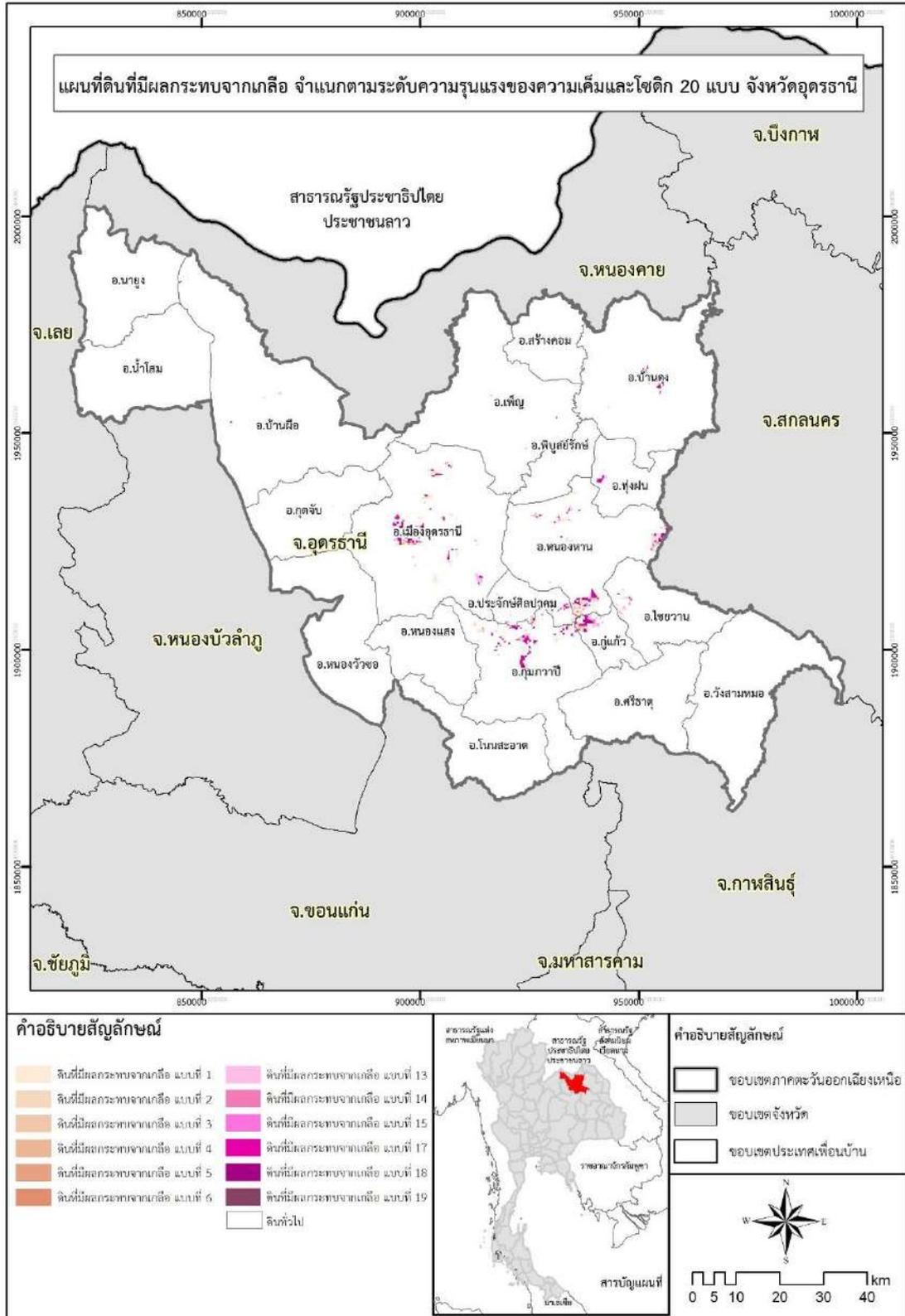
ภาพภาคผนวกที่ 13 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดสุรินทร์



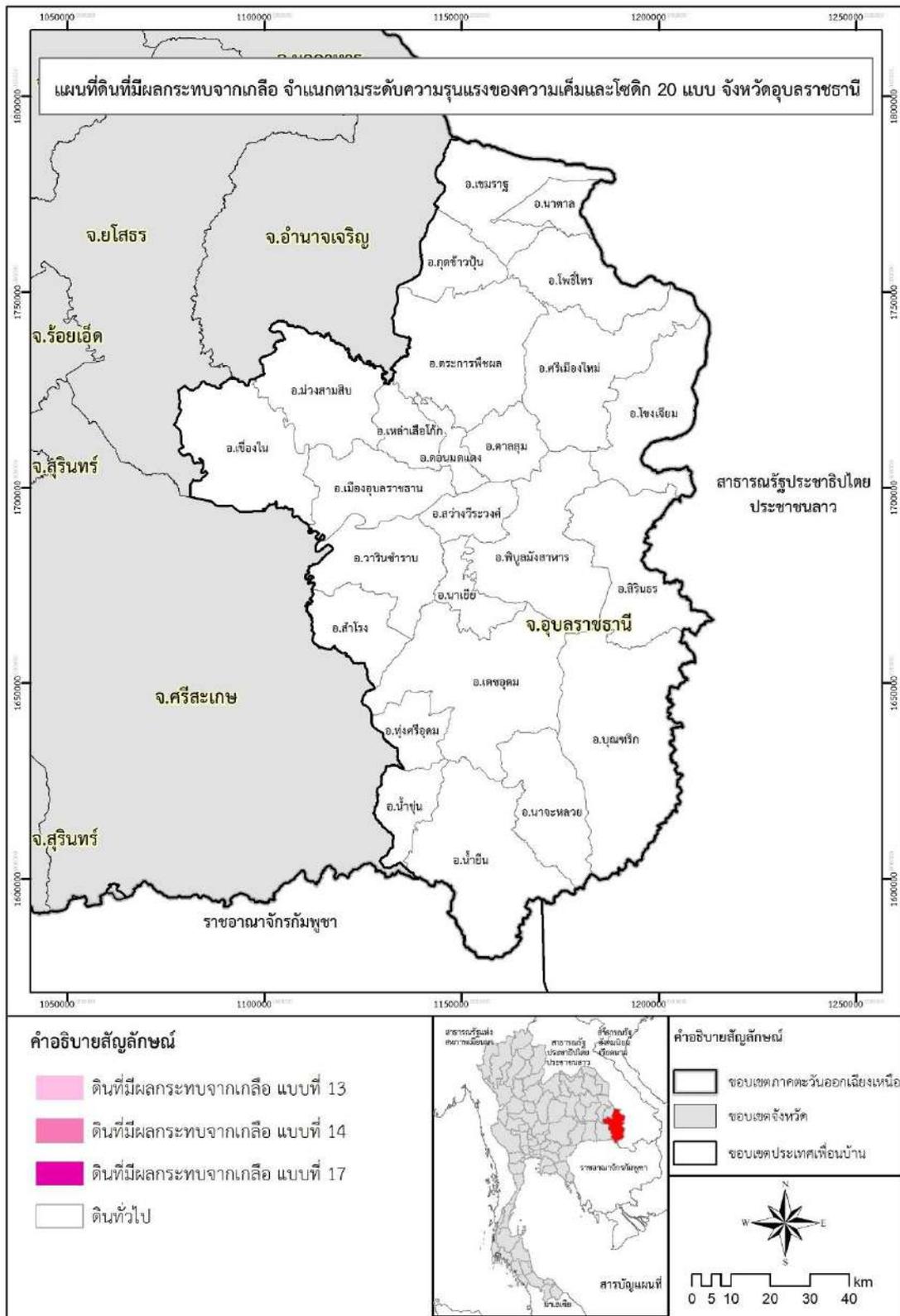
ภาพภาคผนวกที่ 14 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดหนองคาย



ภาพภาคผนวกที่ 15 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดอำนาจเจริญ



ภาพภาคผนวกที่ 16 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดอุดรธานี



ภาพภาคผนวกที่ 17 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก จังหวัดอุบลราชธานี

