



สำนักบริหารบำรุงทาง
กรมทางหลวง

คู่มือการวิเคราะห์ พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติ



โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์
และประเมินความเสี่ยงภัยพิบัติทางหลวง



คู่มือการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติ

สำนักบำรุงทาง

กรมทางหลวง

พ.ศ. 2568



สารบัญ

หน้า

คำนำ

| | |
|--|----|
| คู่มือการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติ..... | 1 |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 2. การเกิดดินถล่ม..... | 1 |
| 3. การเกิดน้ำท่วม..... | 3 |
| 4. ข้อมูลฝนจากแบบจำลอง ระบบคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนระยะสั้นจากแบบจำลอง WRF..... | 4 |
| 5. การคำนวณปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) และดัชนีเสี่ยง (Risk Index)..... | 6 |
| 5.1 การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) | 9 |
| 5.2 กลุ่มชั้นข้อมูลปัจจัยเสี่ยงน้ำท่วม (Flood)..... | 10 |
| 5.3 กลุ่มชั้นข้อมูลปัจจัยเสี่ยงดินถล่ม (Landslide)..... | 24 |
| 5.4 การวิเคราะห์ดัชนีเสี่ยง (Risk Index)..... | 52 |
| 6. การทดสอบ และการประเมินประสิทธิภาพดัชนีเสี่ยง (Risk Index: RI) | 61 |
| 6.1 ดัชนีเสี่ยงภัยน้ำท่วมเส้นทาง (Road Flood Risk Index: RFRI) | 63 |
| 6.2 ดัชนีเสี่ยงภัยดินถล่มเส้นทาง (Road Landslide Risk Index: RLRI) | 65 |
| 7. การพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์ระดับน้ำ | 69 |
| 8. ตัวอย่างการประมวลผลแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติทางถนน | 70 |





สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1 ข้อมูลการคำนวณ Risk Factor (RF) แบ่งตามข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ และหน่วยวัดข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงน้ำท่วมสายทาง | 55 |
| ตารางที่ 2 ข้อมูลแหล่งที่มีของแต่ละ Risk Factor (RF) และรายละเอียดของข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงน้ำท่วมสายทาง | 57 |
| ตารางที่ 3 ข้อมูลการคำนวณ Risk Factor (RF) แบ่งตามข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ และหน่วยวัดข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงดินโคลนถล่มสายทาง | 58 |
| ตารางที่ 4 ข้อมูลแหล่งที่มีของแต่ละ Risk Factor (RF) และรายละเอียดของข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงดินโคลนถล่มสายทาง | 59 |





สารบัญญรูป

| | หน้า |
|-----------|--|
| รูปที่ 1 | ปัจจัยความปลอดภัยดินถล่มตามระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น 2 |
| รูปที่ 2 | การเกิดดินถล่มจากปริมาณฝนรายวัน และปริมาณฝนสะสม 3 วัน (สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์) 2 |
| รูปที่ 3 | ข้อมูลคาดการณ์ปริมาณฝนวันที่ 28 สิงหาคม 2568 จากการคำนวณวันที่ 27 สิงหาคม 2568 ของแบบจำลอง WRF 5 |
| รูปที่ 4 | แผนผังการพัฒนาการคำนวณค่าตัวเลขปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) ของแต่ละปัจจัย 7 |
| รูปที่ 5 | กราฟความถี่สะสมปริมาณฝน (ข้อมูลฝนล่วงหน้า 7 วัน) ณ วันที่เกิดเหตุการณ์บนเส้นทางหลวง... 7 |
| รูปที่ 6 | กราฟแสดงข้อมูลปริมาณฝนย้อนหลัง 3 วัน (ข้อมูลฝนล่วงหน้า 7 วัน เส้นสีน้ำเงิน) นับถอยหลังจากวันที่เกิดเหตุการณ์บนเส้นทางหลวง (จุดสีแดง)..... 8 |
| รูปที่ 7 | กราฟความถี่สะสมและสัดส่วนของปริมาณการเกิดภัยบนเส้นทางหลวงแยกตามเดือน (ข้อมูลทั้งหมด 2 ปี) 8 |
| รูปที่ 8 | ปัจจัยเสี่ยง 14 ปัจจัยในการเกิดน้ำท่วมแนวสายทาง ประกอบด้วยปัจจัยฝน (สีเขียว) และปัจจัยทางการภาพของตำแหน่งเส้นทาง (สีเทา) คำนวณถ่วงน้ำหนักด้วยสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร เป็นดัชนีเสี่ยงน้ำท่วม..... 9 |
| รูปที่ 9 | ปัจจัยเสี่ยง 24 ปัจจัยในการเกิดดินถล่มตามแนวสายทาง ประกอบด้วยปัจจัยฝน (สีเขียว) และปัจจัยทางการภาพของตำแหน่งเส้นทาง (สีเทา) คำนวณถ่วงน้ำหนักด้วยสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร เป็นดัชนีเสี่ยงดินถล่ม 10 |
| รูปที่ 10 | ปริมาณฝนตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... 10 |
| รูปที่ 11 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ฝนรายวัน (RF_{daily_rain}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วม จากการปรับ Normalization..... 11 |
| รูปที่ 12 | ปริมาณฝนสะสม 3 วัน (นับถอยหลัง) จากตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... 11 |
| รูปที่ 13 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ฝนสะสม 3 วัน (RF_{3days_rain}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วม จากการปรับ Normalization..... 12 |
| รูปที่ 14 | ความสูงภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... 12 |





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-----------|--|----|
| รูปที่ 15 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยงความสูงภูมิประเทศ ($RF_{\text{elevation}}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization..... | 13 |
| รูปที่ 16 | ความสามารถในการระบายน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 13 |
| รูปที่ 17 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความสามารถในการระบายน้ำ ($RF_{\text{drainage_capability}}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วม จากการปรับ Normalization..... | 14 |
| รูปที่ 18 | ความลาดชัน ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 14 |
| รูปที่ 19 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความลาดชัน (RF_{slope}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization | 15 |
| รูปที่ 20 | ตัวอย่าง backslope จากงานวิศวกรรมเขตทางที่มีความละเอียดเกินกว่าข้อมูล DEM จะตรวจความลาดชันจากลาด backslope นี้ได้ | 15 |
| รูปที่ 21 | ดัชนีความแตกต่างปกติของพืชพรรณ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 16 |
| รูปที่ 22 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความแตกต่างปกติของพืชพรรณ (RF_{NDVI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization..... | 16 |
| รูปที่ 23 | ดัชนีความแตกต่างปกติของน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 17 |
| รูปที่ 24 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความแตกต่างปกติของน้ำ (RF_{NDWI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization..... | 17 |
| รูปที่ 25 | ทิศทางการลาดชัน ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 18 |
| รูปที่ 26 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ทิศทางการลาดชัน (RF_{aspect}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization..... | 18 |
| รูปที่ 27 | ข้อมูลปัจจัยเสี่ยง ประเภทของดิน ($RF_{\text{soil_type}}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วม โดยจะทำการแบ่งตามประเภทของดินแทนการทำ Normalization | 19 |





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-----------|--|----|
| รูปที่ 28 | ผลจากการแบ่งระดับความเสี่ยงตามประเภทของดิน..... | 19 |
| รูปที่ 29 | ดัชนีความชื้น ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 20 |
| รูปที่ 30 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความชื้น (RF_{TWM}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization | 20 |
| รูปที่ 31 | ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LULC) แบ่งปัจจัยเสี่ยงตามการพิจารณา ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน | 21 |
| รูปที่ 32 | ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LULC) ที่คำนวณเป็นปัจจัยเสี่ยงแล้ว | 21 |
| รูปที่ 33 | ระยะทางจากจุดเกิดเหตุถึงทางน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 22 |
| รูปที่ 34 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ระยะทางจากจุดเกิดเหตุถึงทางน้ำ (RF_{DTWA}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วม จากการปรับ Normalization..... | 22 |
| รูปที่ 35 | ข้อมูลสถิติการเกิดซ้ำซากแยกตามจังหวัด ข้อมูลสะสมจาก ปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์)..... | 23 |
| รูปที่ 36 | จากข้อมูลสถิติการเกิดซ้ำซากแยกตามจังหวัด นำมาคำนวณเป็นค่าความเสี่ยงจากสถิติได้เป็นปัจจัยเสี่ยง..... | 23 |
| รูปที่ 37 | ปริมาณฝน ณ ตำแหน่งเกิดดินถล่มสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 24 |
| รูปที่ 38 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ฝนรายวัน (RF_{daily_rain}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 24 |
| รูปที่ 39 | ปริมาณฝนสะสมย้อนหลัง 3 วัน ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 25 |
| รูปที่ 40 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยงปริมาณฝนสะสมย้อนหลัง 3 วัน (RF_{3days_rain}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 25 |
| รูปที่ 41 | ความสามารถในการระบายน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 26 |





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-----------|--|----|
| รูปที่ 42 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความสามารถในการระบายน้ำ ($RF_{\text{drainage_capability}}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่มจากการปรับ Normalization | 26 |
| รูปที่ 43 | ทิศทางการลาดชัน ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 27 |
| รูปที่ 44 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ทิศทางการลาดชัน (RF_{aspect}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 27 |
| รูปที่ 45 | ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 28 |
| รูปที่ 46 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง ($RF_{\text{elevation}}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 28 |
| รูปที่ 47 | การคำนวณเงาเนินเขาจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)..... | 29 |
| รูปที่ 48 | เงาภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล | 29 |
| รูปที่ 49 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง เงาภูมิประเทศ ($RF_{\text{hillshade}}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 30 |
| รูปที่ 50 | ปัจจัยเสี่ยงที่แบ่งตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (RF_{LULC}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม..... | 31 |
| รูปที่ 51 | ระดับความเสี่ยงจากปัจจัยเสี่ยงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (RF_{LULC}) เมื่อนำกลับไปเก็บข้อมูลจากตำแหน่งที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม | 32 |
| รูปที่ 52 | การคำนวณโค้งราบ (plan curvature) จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) ซึ่งจะให้ค่าเป็นตัวเลขระหว่าง -1.0 ถึง +1.0..... | 32 |
| รูปที่ 53 | เมื่อนำข้อมูลปัจจัยเสี่ยงจากความโค้งราบไปสกัดข้อมูลจากตำแหน่งรายงานที่เกิดดินโคลนถล่ม สายทางจะได้สถิติค่าความโค้งแนวราบระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 ซึ่งค่าส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้กับค่า 0..... | 33 |
| รูปที่ 54 | ผลจากการคำนวณค่าปัจจัยเสี่ยงจากความโค้งแนวราบเมื่อนำกลับไปสกัดข้อมูล ณ ตำแหน่งที่รายงานเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางได้สถิติค่าปัจจัยเสี่ยงส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 70 - 80 | 33 |
| รูปที่ 55 | การคำนวณค่าความโค้งในแนวตั้งจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) ซึ่งจะให้ค่าเป็นตัวเลขระหว่าง -1.0 ถึง +1.0..... | 34 |





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-----------|---|----|
| รูปที่ 56 | ข้อมูลสถิติจากตำแหน่งรายงานเกิดดินโคลนถล่ม เมื่อนำมาอ่านข้อมูลค่าความโค้งแนวตั้งข้อมูลส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้กับค่า 0 | 34 |
| รูปที่ 57 | ผลจากการคำนวณค่าปัจจัยเสี่ยงจากความโค้งแนวตั้งเมื่อนำกลับไปสกัดข้อมูล ณ ตำแหน่ง ที่รายงานเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางได้สถิติค่าปัจจัยเสี่ยงส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 70 - 80 | 35 |
| รูปที่ 58 | ข้อมูลระยะทางที่เกิดดินถล่มจากแนวเขตทางส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้หรืออยู่ในแนวสายทางอยู่แล้ว .. | 35 |
| รูปที่ 59 | สถิติระยะทางจากจุดเกิดดินโคลนถล่มจากรายงานบนแนวสายทางไปถึงเส้นทางน้ำ ข้อมูลส่วนใหญ่บ่งชี้ว่าอยู่ใกล้กับแนวสายทาง (เพราะว่ารายงานมาจากจุดที่เกิดบนแนวสายทาง) | 36 |
| รูปที่ 60 | สถิติปัจจัยเสี่ยงระยะทางถึงแหล่งน้ำเมื่อนำจุดรายงานเกิดดินโคลนถล่มบนแนวสายทาง กลับมาคำนวณจากค่า Normalization จากสถิติระยะทางจากจุดเกิดดินโคลนถล่ม ไปยังเส้นทางน้ำที่ใกล้ที่สุด | 36 |
| รูปที่ 61 | การคำนวณความขรุขระจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) | 37 |
| รูปที่ 62 | สถิติค่าความขรุขระที่นำจุดรายงานดินโคลนถล่มมาใช้สกัดค่าออกจากข้อมูล ส่วนใหญ่พื้นที่ที่เกิดดินโคลนถล่มจะมีค่าความขรุขระอยู่ในช่วงระหว่าง 8.0 ถึง 28.0 ซึ่งจะนำไปคำนวณ Normalization เป็นข้อมูลปัจจัยเสี่ยงความขรุขระ | 38 |
| รูปที่ 63 | ค่าปัจจัยเสี่ยงความขรุขระจากข้อมูลตำแหน่งรายงานที่เกิดดินโคลนถล่ม ข้อมูลมีการกระจายตัวไปทุก ๆ ค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ไม่แสดงถึงความสมเหตุสมผล ในการนำไปเป็นปัจจัยในการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่ม | 38 |
| รูปที่ 64 | วิธีการคำนวณค่าการขนส่งตะกอน (STI) คำนวณจากปริมาณน้ำที่ไหลมารวมกันเหนือจุดนั้น (As) และ ความชันของลาด (β) แล้วตีความเป็นทิศทางการไหลของตะกอน | 39 |
| รูปที่ 65 | ดัชนีการขนส่งตะกอน ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 39 |
| รูปที่ 66 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง การขนส่งตะกอน (RFSTI) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization | 40 |
| รูปที่ 67 | ความชัน ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 40 |
| รูปที่ 68 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความชัน (RFslope) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization | 41 |





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-----------|---|----|
| รูปที่ 69 | ประเภทดิน ณ ตำแหน่งรายงานที่เกิดดินโคลนถล่มแนวสายทาง ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์)..... | 41 |
| รูปที่ 70 | ค่าปัจจัยเสี่ยง 0 - 100 หลังจากการกำหนดค่าความเสี่ยงตามประเภทดินแล้ว นำไปสกัดข้อมูลอีกครั้งจากตำแหน่งรายงานจุดเกิดภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์)..... | 42 |
| รูปที่ 71 | วิธีการคำนวณค่าพลังงานการกัดเซาะของน้ำจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)..... | 43 |
| รูปที่ 72 | ค่าปัจจัยเสี่ยงพลังงานการกัดเซาะของน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่ม ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 43 |
| รูปที่ 73 | ค่าปัจจัยเสี่ยง พลังงานการกัดเซาะของน้ำ (RFSPi) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 44 |
| รูปที่ 74 | วิธีการคำนวณค่าความขรุขระของภูมิประเทศ (RFTRI) จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)..... | 44 |
| รูปที่ 75 | การคำนวณปัจจัยเสี่ยงจากดัชนีตำแหน่งภูมิประเทศ เทียบจากตำแหน่งโดยรอบ..... | 45 |
| รูปที่ 76 | ค่าปัจจัยเสี่ยงตำแหน่งภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่ม ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 45 |
| รูปที่ 77 | ค่าปัจจัยเสี่ยง ตำแหน่งภูมิประเทศ (RFTPI) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 45 |
| รูปที่ 78 | การคำนวณดัชนีความชันของภูมิประเทศจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)..... | 46 |
| รูปที่ 79 | ค่าความชันของภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 46 |
| รูปที่ 80 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยงความชันของภูมิประเทศ (RFTWI) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 47 |
| รูปที่ 81 | ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 47 |
| รูปที่ 82 | ค่าปัจจัยเสี่ยง อุณหภูมิ (RFtemperature) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization..... | 48 |





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-----------|--|----|
| รูปที่ 83 | ดัชนีความแตกต่างปกติของพีชพรรณ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 48 |
| รูปที่ 84 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความแตกต่างปกติของพีชพรรณ (RFNDVI) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่มจากการปรับ Normalization..... | 49 |
| รูปที่ 85 | ดัชนีความแตกต่างปกติของน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล..... | 50 |
| รูปที่ 86 | ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความแตกต่างปกติของน้ำ (RFNDWI) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่มจากการปรับ Normalization..... | 50 |
| รูปที่ 87 | ข้อมูลสถิติการเกิดภัยดินโคลนถล่ม ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) แยกตามพื้นที่จังหวัด..... | 51 |
| รูปที่ 88 | ค่าปัจจัยเสี่ยงจากสถิติการเกิดภัยดินโคลนถล่มคำนวณจากพื้นที่จังหวัดตามค่าน้ำหนักความเสี่ยงที่กำหนดไว้..... | 52 |
| รูปที่ 89 | สถิติค่าพิกัด Latitude และ Longitude ของตำแหน่งเกิดน้ำท่วมสายทางที่มีค่า RF แยกตามปัจจัยเกินกว่า 50 ($RF > 50$) นับเป็นจำนวนจุดสะสม..... | 53 |
| รูปที่ 90 | สถิติค่าพิกัด Latitude และ Longitude ของตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มสายทางที่มีค่า RF แยกตามปัจจัย เกินกว่า 50 ($RF > 50$) นับเป็นจำนวนจุดสะสม..... | 53 |
| รูปที่ 91 | ตัวอย่างข้อมูลรายวันดัชนี RFRI ของวันที่ 5 ก.พ. 2568 (ซ้ายบน) วันที่ 30 มี.ค. 2568 (ขวาบน) วันที่ 16 เม.ย. 2568 (ซ้ายล่าง) และวันที่ 14 พ.ค. 2568 (ขวาล่าง) ความละเอียด 250x250 ตร.เมตร แสดงร่วมกับจุดรายงานเกิดน้ำท่วมสายทางจาก Line App (จุดสีเหลี่ยมสีแดง)..... | 63 |
| รูปที่ 92 | ความถี่สะสมของตำแหน่งที่เกิดภัยน้ำท่วมตั้งแต่ มกราคม ถึง พฤษภาคม 2568 จากรายงาน Line App แบ่งจำนวนจุดเป็นความถี่สะสมของค่าความเสี่ยงภัยน้ำท่วม 0 ถึง 100 ข้อมูลส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 50..... | 64 |
| รูปที่ 93 | ผลการประเมินจุดที่เกิดเหตุน้ำท่วมสายทาง 393 จุด (True) และจุดสุ่มที่ไม่เกิดเหตุการณ์ใด ๆ จำนวน 368 จุด (False) คำนวณ Confusion Matrix ได้ผลความแม่นยำของแบบจำลอง 91% ความสามารถในการตอบสนอง 89% และ F1-Score เท่ากับ 89% จากการทดสอบทั้งสิ้น 761 จุด..... | 64 |





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-----------|---|----|
| รูปที่ 94 | ตัวอย่างข้อมูลรายวันดัชนี RLRI วันที่ 25 ก.พ. 2568 (ซ้ายบน) วันที่ 13 มี.ค. 2568 (ขวาบน) วันที่ 6 เม.ย. 2568 (ซ้ายล่าง) และวันที่ 19 พ.ค. 2568 (ขวาล่าง) ความละเอียด 250x250 ตารางเมตร แสดงร่วมกับจุดรายงานเกิดดินถล่มสายทางจาก Line App (จุดสีเหลี่ยมสีแดง) | 66 |
| รูปที่ 95 | ความถี่สะสมของตำแหน่งที่เกิดภัยดินถล่มตั้งแต่ มกราคม ถึง พฤษภาคม 2568 จากรายงาน Line App แบ่งจำนวนจุดเป็นความถี่สะสมของค่าความเสี่ยงภัยดินถล่ม 0 ถึง 100 ข้อมูลส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 50 | 67 |
| รูปที่ 96 | ผลการประเมินจุดที่เกิดดินถล่มสายทาง 91 จุด (True) และจุดสุ่มที่ไม่เกิดเหตุการณ์ใด ๆ จำนวน 91 จุด (False) คำนวณ confusion matrix ได้ผลความแม่นยำของแบบจำลอง 93% ความสามารถในการตอบสนอง 92% และ F1-Score เท่ากับ 92% จากการทดสอบทั้งสิ้น 182 จุด | 68 |
| รูปที่ 97 | แบบจำลอง Random Forest Regression คำนวณระดับน้ำเหนือผิวทาง (เส้นสีแดง) เปรียบเทียบกับข้อมูลจุด (ระดับน้ำจากรายงาน, ระดับน้ำจากการคำนวณ) (จุดสีน้ำเงิน)..... | 69 |
| รูปที่ 98 | ตัวอย่างแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มจากการสุ่มวันที่ เดือนกันยายน ปี ค.ศ. 2024 (เดือนที่มีรายงานการเกิดมากที่สุด) แสดงระดับดัชนีเสี่ยงภัยดินถล่มจาก 0 (เสี่ยงน้อยที่สุด) ไปจนถึง 100 (เสี่ยงมากที่สุด) แสดงการเปลี่ยนแปลงไปตามการตรวจวัดปัจจัยย่อยที่เกี่ยวข้อง ... | 70 |
| รูปที่ 99 | ตัวอย่างแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจากการสุ่มข้อมูลทุกวันที่ 15 ของทุกเดือนใน ปี ค.ศ. 2024 (เลขกำกับหมายถึงเลขเดือน) แสดงระดับดัชนีเสี่ยงภัยน้ำท่วมจาก 0 (เสี่ยงน้อยที่สุด) ไปจนถึง 100 (เสี่ยงมากที่สุด) แสดงการเปลี่ยนแปลงไปตามการตรวจวัดปัจจัยย่อยที่เกี่ยวข้อง และความเสี่ยงตามฤดูกาล (หน้าแล้ง และหน้าฝน) | 71 |



คำนำ

เอกสาร คู่มือ การพัฒนาแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติทางถนน เล่มนี้ จัดทำขึ้นเพื่ออธิบายแนวคิด หลักการ หลักคิด ในการพัฒนาแบบจำลองเชิงประจักษ์ ด้วยวิธีการประมวลผลทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ร่วมกับการคำนวณทางแบบจำลองคณิตศาสตร์ และแบบจำลองการเรียนรู้

ข้อมูลตำแหน่งจุดเกิดภัยพิบัติบริเวณเส้นทางหลวง ประกอบด้วย ภัยดินถล่ม และภัยน้ำท่วม จากข้อมูล การรายงานของเจ้าหน้าที่ในพื้นที่ตั้งแต่ กันยายน พ.ศ. 2565 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นรายงานจากระบบปฏิบัติการของกรมทางหลวงที่ผ่านมา ซึ่งในการพัฒนากำหนดให้เป็นจุดที่มีความเสี่ยงสูงสุด สำหรับใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

ในเอกสารจะจัดลำดับการนำเสนอตามหัวข้อความสำคัญ ลำดับจากหลักการเรื่องของภัยพิบัติ ดินถล่ม และน้ำท่วม ที่เป็นข้อมูลอธิบายตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ภูมิศาสตร์ ซึ่งจะอธิบายมูลเหตุทางวิทยาศาสตร์ในการเกิดภัยพิบัติ และเป็นข้อมูลตั้งต้นในการกำหนดปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่เกี่ยวข้อง และได้อธิบายขั้นตอนทางคณิตศาสตร์สถิติในการพัฒนาแบบจำลองพื้นที่เสี่ยง เป็นลำดับ ๆ ไป จนถึงขั้นตอน การพิสูจน์และแสดงตัวอย่างแผนที่พื้นที่เสี่ยงเป็นลำดับสุดท้าย

คู่มือการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติ

1. บทนำ

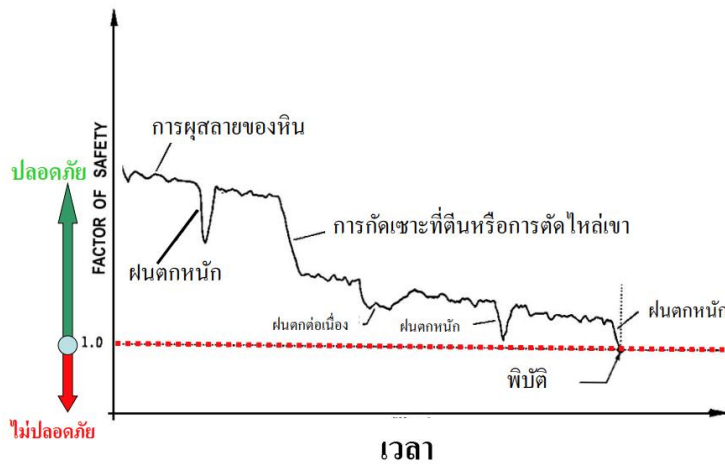
การพัฒนาแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติบนเส้นทางหลวง ในงานวิจัยครั้งนี้ พัฒนาขึ้นมาจากเงื่อนไขสำคัญ คือ ข้อมูลที่จะเป็นปัจจัยเกี่ยวข้อง จะมาจากข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ทั้งหมด และข้อมูลทุติยภูมิดังกล่าว จะต้องมีการตรวจวัดครอบคลุมทุกพื้นที่ทั้งประเทศ เนื่องจากต้องวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงบนเส้นทางหลวงทุกเส้นทางกว่า 50,000 กิโลเมตร ดังนั้น ข้อมูลทุติยภูมิที่แม้จะมีความละเอียดมากกว่า ถูกต้องมากกว่า แต่ถ้าไม่สามารถให้ข้อมูลที่ครบทุกเส้นทาง จะไม่นำมาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลอง

จากเงื่อนไขเรื่องคุณลักษณะข้อมูลดังกล่าวไป ข้อมูลที่นำมาใช้พัฒนาในโครงการประกอบไปด้วย (1) ข้อมูลพื้นฐาน/ข้อมูลด้านกายภาพ เช่น ความสูงภูมิประเทศ ความชัน ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ความสามารถในการระบายน้ำ เป็นต้น แต่ข้อมูลประเภทนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงระยะเวลาสั้น ทำให้ “ความเสี่ยง” จะมีลักษณะเป็นค่าคงที่ ดังนั้น ปัจจัยที่ควรมีน้ำหนักมากกว่าก็คือ ปัจจัยที่สามารถตรวจวัดได้ทันการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด เช่น (2) ข้อมูลปริมาณฝน (คาดการณ์) การประมวลผลทั้งประเทศ จากข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยเหตุผลในเรื่องของโครงสร้างข้อมูลที่เป็นข้อมูลกริด หมายถึง ข้อมูลจะมีการกระจายตัวสม่ำเสมอเป็นจุดกริดทั้งประเทศ ในกรณีที่ตัดส่วนที่เป็นทะเลออกไป ก็จะสามารถกล่าวได้ว่า มีข้อมูลทุกพื้นที่ ไม่เพียงเฉพาะแนวเส้นทางหลวงเท่านั้น ซึ่งความละเอียดที่เป็นไปได้เล็กที่สุด คือ 30 เมตร (ตามชั้นข้อมูลชั้นความสูงภูมิประเทศ) เมื่อการใช้งานเป็นลักษณะแผนที่ประกอบการแสดงผล (การมองเห็น) ทั้งประเทศ เช่น การแสดงภาพรวมพื้นที่เสี่ยงที่มักจะแสดงทั้งประเทศ ก็มักจะแสดงที่มาตราส่วนน้อยกว่า 1:10,000,000 ซึ่งจะไม่สามารถมองเห็นเส้นทางหลวงได้ (เล็กมาก) ดังนั้น การประมวลผลพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติ จึงต้องทำทุกจุดกริด แล้วการใช้งานเฉพาะเส้นทางหลวง จึงคอยนำไปประมวลผลต่อกับแนวเส้นทางหลวง

2. การเกิดดินถล่ม

ภัยดินถล่ม และน้ำท่วม ในบริเวณพื้นที่เขตทางมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง การติดตามปัจจัยโดยละเอียด ต้องอาศัยข้อมูลที่ละเอียดถูกต้อง (เช่น สถานีตรวจวัด ติดตามโดยตรง เช่น กล้อง CCTV หรืออุปกรณ์วัดการเอียง ทรวดวัด เป็นต้น) และที่สำคัญ คือ อุปกรณ์เหล่านั้นต้องมีความครอบคลุมเส้นทางหลวงทุกสาย ซึ่งหากปราศจากระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีการรวบรวมข้อมูลทุกแง่มุมเป็นอย่างดีแล้ว ก็ต้องอาศัยข้อมูลประเภทอื่น เช่น ข้อมูลการตรวจวัดจากปัจจัยแวดล้อมกายภาพ และจากอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลจากระบบดาวเทียม ข้อมูลจากระบบตรวจวัดภาคพื้นดิน เป็นต้น ขอยกตัวอย่างในกรณีดินถล่ม มีปัจจัยที่อาจจะเป็นข้อจำกัดในการที่จะได้มา ดังเช่น การผุสลายของดินหิน การกัดเซาะดิน ที่เป็นสาเหตุของการพิบัติของลาดหน้าดิน แสดงดังรูปที่ 1 ในกรณีนี้ ข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ข้อมูลกายภาพ) หรือ ข้อมูลจากระบบดาวเทียม ก็มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากการสูญเสียแรงยึดของอนุภาคในดินจากเวลา ไม่สามารถตรวจวัดได้จากเทคนิคการสำรวจระยะไกล



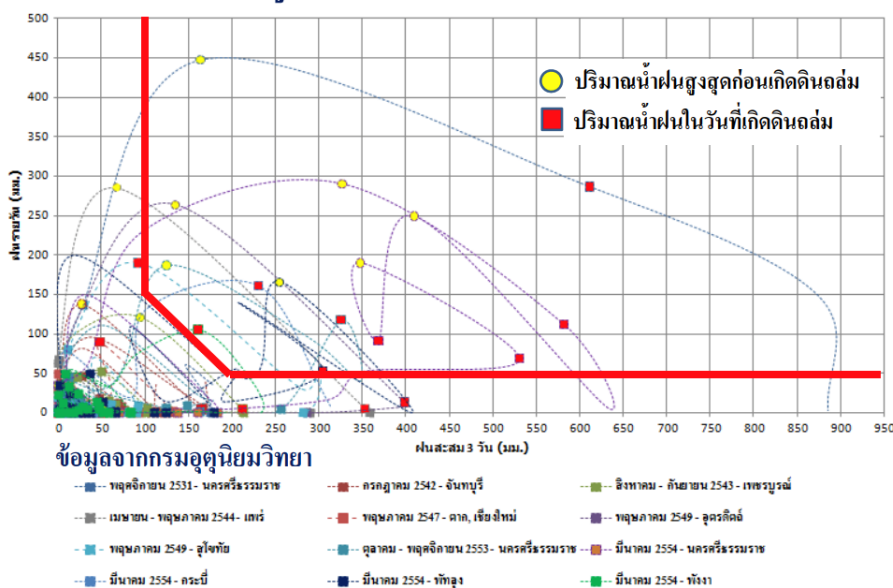


ดัดแปลงจาก Popescu (1996)

รูปที่ 1 ปัจจัยความปลอดภัยดินถล่มตามระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น

ฝนเป็นปัจจัยโดยตรงที่เมื่อซึมเข้าไปในดินแล้วทำให้อุณหภูมิดินสูญเสียแรงยึดเกาะโดยตรง แต่จากการวิจัยก็พบว่ามี การตรวจวัดฝนใน 2 ลักษณะที่จะทำให้เกิดดินถล่ม คือ (1) ปริมาณฝนรายวันเกิน 150 มม. และ (2) ปริมาณฝนสะสม 3 วัน เกิน 200 มม. อย่างไรก็ตามหนึ่งถึงก่อนก็มักจะเกิดดินถล่ม แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งอาจจะตั้งข้อสันนิษฐานได้ว่า ในกรณีฝนตกรายวันจะเกิดผลกับดินที่มีการซึมน้ำได้เร็วกว่าพื้นที่ที่ดินซึมน้ำได้ช้ากว่า หรือมีการเสริมกำลังหน้าดิน หรืออาจจะเป็นเพราะการกัดกร่อนเป็นเวลานาน เป็นต้น ซึ่งการสังเกตปัจจัยฝนอาจจะต้องทำเป็น 2 ปัจจัย เพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยที่ไม่ได้มาจากการตรวจวัดโดยตรง (เช่น กำลังยึดเกาะของดิน ชนิดดิน องค์ประกอบอนุภาคในดิน เป็นต้น) ซึ่งในการพัฒนาแบบจำลองในโครงการนี้จึงได้ใช้ปัจจัยฝน เป็น 2 กลุ่ม คือ (1) ปริมาณฝนคาดการณ์รายวัน และ (2) ปริมาณฝนคาดการณ์สะสมราย 3 วัน

ข้อมูลน้ำฝนในช่วงเกิดดินถล่มในอดีต



รูปที่ 2 การเกิดดินถล่มจากปริมาณฝนรายวัน และปริมาณฝนสะสม 3 วัน (สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์)





3. การเกิดน้ำท่วม

อุทกภัยมีสาเหตุมาจากการเกิดฝนตกหนัก หรือฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานาน (กรมอุตุนิยมวิทยา) มีสาเหตุเนื่องมาจาก

- (1) หย่อมความกดอากาศต่ำ
- (2) พายุหมุนเขตร้อน
- (3) ร่องมรสุมหรือร่องความกดอากาศต่ำ
- (4) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ
- (5) เชื้อนพัง

การไหลของอากาศจากความกดอากาศสูงไปความกดอากาศต่ำ ในพื้นที่ประเทศไทย เป็นพื้นที่แถบศูนย์สูตร ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าประเทศแถบละติจูดสูง ทำให้มวลอากาศร้อนที่เบาลอยตัวขึ้นข้างบนทำให้ในชั้นบรรยากาศที่อยู่ชิดกับผิวโลกประเทศไทยมักจะมี ความกดอากาศต่ำ และทำให้ความกดอากาศสูงไหลเข้ามา ซึ่งทำให้ภูมิภาค ประเทศไทยมีฝนตกมากกว่าภูมิภาคอื่น และมีลักษณะเป็นพื้นที่ลมมรสุม ผลของการเกิดฝนตกหนักจะทำให้เกิดอุทกภัย ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

(1) น้ำป่าไหลหลาก

มักจะเกิดขึ้นในที่ราบต่ำหรือที่ราบลุ่มบริเวณใกล้ภูเขาต้นน้ำ เกิดขึ้นเนื่องจากฝนตกหนักเหนือภูเขา ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้จำนวนน้ำสะสมมีปริมาณมากจนพื้นดิน และต้นไม้ดูดซับไม่ไหวไหลบ่าลงสู่ที่ราบต่ำเบื้องล่างอย่างรวดเร็ว ในส่วนนี้อาจจะตั้งสมมุติฐานได้บางอย่างว่า เส้นทางหลวงจะไม่ได้ อยู่ในส่วนที่เป็นต้นน้ำ แต่ก็มักจะอยู่ในที่ลุ่มรับน้ำ ดังนั้น การเกิดน้ำท่วมเส้นทางหลวงในบางกรณี ก็เกิดจากน้ำที่ไหลมาจากส่วนต้นน้ำ ไม่ได้มาจากปริมาณฝนตกหนักในพื้นที่เพียงอย่างเดียว ดังนั้น การวิเคราะห์ปริมาณฝนที่ตำแหน่งเส้นทางหลวงเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่มีสหสัมพันธ์กับการเกิด น้ำท่วมจากกรณีนี้ จึงต้องอาศัยปัจจัยอื่น ๆ เช่น ดัชนีความสามารถในการระบายน้ำ (คำนวณจาก ทิศทางการไหลจากที่สูงไปที่ต่ำจากข้อมูลเช่น ความสูงภูมิประเทศ เป็นต้น)

(2) น้ำท่วม

เกิดขึ้นจากปริมาณน้ำสะสมจำนวนมากที่ไหลบ่าในแนวระนาบจากที่สูงไปยังที่ต่ำ น้ำท่วมขัง ในเขตเมืองใหญ่ที่เกิดจากฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีสาเหตุมาจากระบบการระบายน้ำไม่เพียงพอ มีสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางระบายน้ำ หรือเกิดจากน้ำทะเลหนุนสูง กรณีใกล้ชายฝั่งทะเล ในส่วนนี้ ก็สามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่า ในเรื่องของพื้นที่เมืองที่มีการระบายน้ำไปทางผิวดินได้น้อยกว่าพื้นที่ชนบท ข้อมูลประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะสามารถนำมาแบ่งส่วนค่าน้ำหนักได้ว่า ในพื้นที่ชุมชนมักจะมี ความเสี่ยงที่จะเกิดน้ำท่วมสูงกว่าพื้นที่ชนบท แม้ว่าจะมีปริมาณฝนตกที่เท่ากัน เป็นต้น



(3) น้ำล้นตลิ่ง

เกิดจากปริมาณน้ำจำนวนมากที่เกิดจากฝนตกหนักต่อเนื่อง ที่ไหลลงสู่ลำน้ำ หรือแม่น้ำมีปริมาณมาก จนระบายลงสู่ลุ่มน้ำด้านล่าง หรือออกสู่ปากน้ำไม่ทัน ทำให้เกิดสถานะน้ำล้นตลิ่งสองฝั่งแม่น้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อถนนที่อยู่ใกล้กับแม่น้ำ แหล่งน้ำ ข้อมูลดัชนีแสดงระยะห่างจากแหล่งน้ำ เส้นทางน้ำ ก็จะเป็นอีกดัชนีหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดน้ำท่วมเส้นทางหลวง

4. ข้อมูลฝนจากแบบจำลอง ระบบคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนระยะสั้นจากแบบจำลอง WRF

ข้อมูลฝนเป็นข้อมูลสำคัญที่สุด (ปัจจัยหลัก) ของทั้งภัยดินถล่ม และน้ำท่วม แต่ข้อมูลฝนที่จะสามารถนำมาใช้กับพื้นที่ทั้งประเทศ ก็มีข้อจำกัดทางด้านการผลิตและให้บริการด้วยเหมือนกัน ประการแรก กรมอุตุนิยมวิทยาจะมีสถานีให้บริการข้อมูล 127 สถานี ทั่วประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา) ให้บริการข้อมูลผ่าน API ดังนี้

- ฝนพยากรณ์ราย 3 ชั่วโมงล่วงหน้า 10 วัน ความละเอียด 18 กม.
- ฝนพยากรณ์ราย 1 ชั่วโมงล่วงหน้า 72 ชั่วโมง ความละเอียด 6 กม.
- ฝนพยากรณ์ราย 1 ชั่วโมงล่วงหน้า 48 ชั่วโมง ความละเอียด 2 กม.

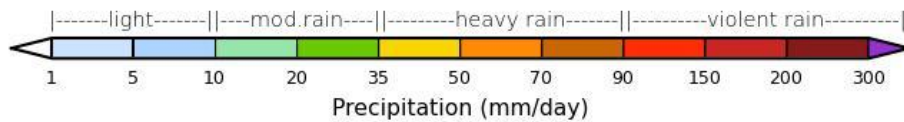
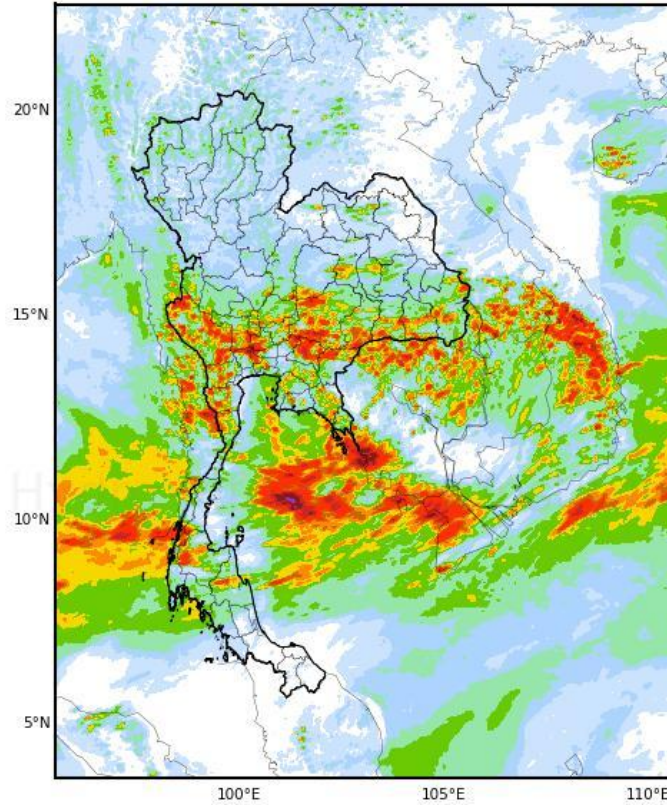
ข้อมูลฝน “ล่วงหน้า” ที่เป็นฝนคาดการณ์ที่จะนำมาใช้พัฒนาแบบจำลองให้กับระบบประมวลผลพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติของกรมทางหลวง ใช้การตรวจวัดปริมาณฝนแบบล่วงหน้า ที่ตรงกับวัตถุประสงค์ของความต้องการเป็นข้อมูลฝนคาดการณ์จากแบบจำลอง “ระบบคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนระยะสั้นจากแบบจำลอง WRF” (Weather Research and Forecasting Model) แสดงดังรูปที่ 3 ที่พัฒนาจากข้อมูลโทรมาตรครอบคลุมพื้นที่มากกว่าของกรมอุตุนิยมวิทยา โดย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่ประมวลผลเป็นปริมาณฝนคาดการณ์ 7 วันล่วงหน้า และให้บริการผ่าน Web Service ทุกวัน (มีการประมวลผลใหม่ทุกวันตามตัวแปรอุตุนิยมวิทยาจากระบบโทรมาตร) แต่กับข้อมูลรายงานการเกิดภัยพิบัติของกรมทางหลวงที่มีการระบุวันที่เกิด (หรือวันที่รายงาน) ซึ่งถือว่าเป็นตัวแทนรายวัน

- ฝนสะสม 24 ชม. ข้อมูลรายสถานี
- คาดการณ์ฝนล่วงหน้า 7 วัน อัปเดตรายวัน ความละเอียด 5 กม.
- คาดการณ์ฝนล่วงหน้า 3 วัน อัปเดตรายวัน ความละเอียด 5 กม.

ในการพิจารณาน้ำมาใช้ในโครงการ จะพิจารณาจากหลายเหตุปัจจัย เช่น การให้บริการข้อมูลย้อนหลังที่สามารถดาวน์โหลดได้ อย่างเพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลประวัติการเกิดภัยพิบัติบนเส้นทางหลวงของกรมทางหลวง การอัปเดตรายวัน เป็นต้น ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกข้อมูลฝนคาดการณ์ล่วงหน้า 7 วัน อัปเดตรายวัน ความละเอียด 5 กม. เป็นชุดข้อมูลที่จะนำมาใช้ศึกษาพัฒนาดัชนีพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติเส้นทางหลวงในโครงการ เนื่องจากข้อมูลมีเงื่อนไขรองรับความต้องการของโครงการครบถ้วน



WRF-ROMS (ThaiGeo), 24-Hour Precipitation, Thailand Model (3x3 km)
05-Sep-2025 19:00 to 06-Sep-2025 19:00 (Bangkok Time)



Version: 05.02.C320202.20230927

initial date 03-Sep-2025 19:00 (Bangkok Time)

| ระดับสี | ช่วงปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตรต่อวัน) | ความหมายเทียบกับ กรมอุตุนิยมวิทยา |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Light Blue | อยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 5.00 | ฝนเล็กน้อย |
| Light Green | อยู่ระหว่าง 5.01 ถึง 10.00 | |
| Green | อยู่ระหว่าง 10.01 ถึง 15.00 | ฝนปานกลาง |
| Light Green | อยู่ระหว่าง 15.01 ถึง 25.00 | |
| Yellow | อยู่ระหว่าง 25.01 ถึง 50.00 | |
| Orange | อยู่ระหว่าง 50.01 ถึง 75.00 | ฝนหนัก |
| Red | อยู่ระหว่าง 75.01 ถึง 100.00 | |
| Dark Red | อยู่ระหว่าง 100.01 ถึง 150.00 | ฝนหนักมาก |
| Dark Red | มากกว่า 150.00 | |

อ้างอิง : thaiwater.net

รูปที่ 3 ข้อมูลคาดการณ์ปริมาณฝนวันที่ 28 สิงหาคม 2568
จากการคำนวณวันที่ 27 สิงหาคม 2568 ของแบบจำลอง WRF





5. การคำนวณปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) และดัชนีเสี่ยง (Risk Index)

หลักคิดในการพัฒนาแบบจำลองประมวลผลดัชนีเสี่ยง คือ การแยกวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงแต่ละกลุ่มก่อนนำมาคำนวณถ่วงน้ำหนักไปตามความสัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง (จากรายงานตำแหน่งเกิดภัยพิบัติบนทางหลวงผ่าน Line Application ของกรมทางหลวง)

แบบจำลองดัชนีเสี่ยงพัฒนาจากการคำนวณค่าปัจจัยเสี่ยงเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร ความสามารถของแบบจำลองในเรื่องของการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดภัยพิบัติ จะขึ้นอยู่กับ การสร้างค่าตัวเลขความเสี่ยงของปัจจัยย่อยที่เป็นตัวแปรของสมการเชิงเส้น สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ จะเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก ปัจจัยที่มีความสำคัญและมีไวต่อการเกิดภัยพิบัติจะเป็นปัจจัยที่มีค่าถ่วงน้ำหนักมาก สำหรับปัจจัยที่มีความไวต่อความเสี่ยงภัยพิบัติน้อยกว่าก็จะมีค่าถ่วงน้ำหนักน้อยกว่า ดังสมการ

$$RI_{flood} = a_0 \cdot RF_{a0} + a_1 \cdot RF_{a1} + \dots + a_n \cdot RF_{an} \quad (1)$$

$$RI_{landslide} = b_0 \cdot RF_{b0} + b_1 \cdot RF_{b1} + \dots + b_n \cdot RF_{bn} \quad (2)$$

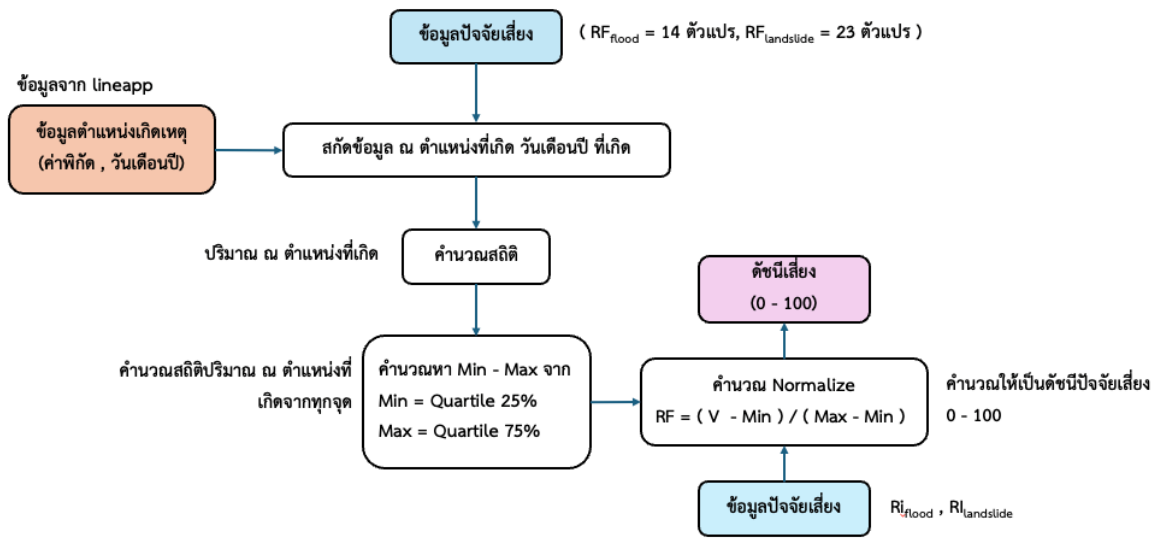
โดยที่

RI = Risk Index

RF = Risk Factor

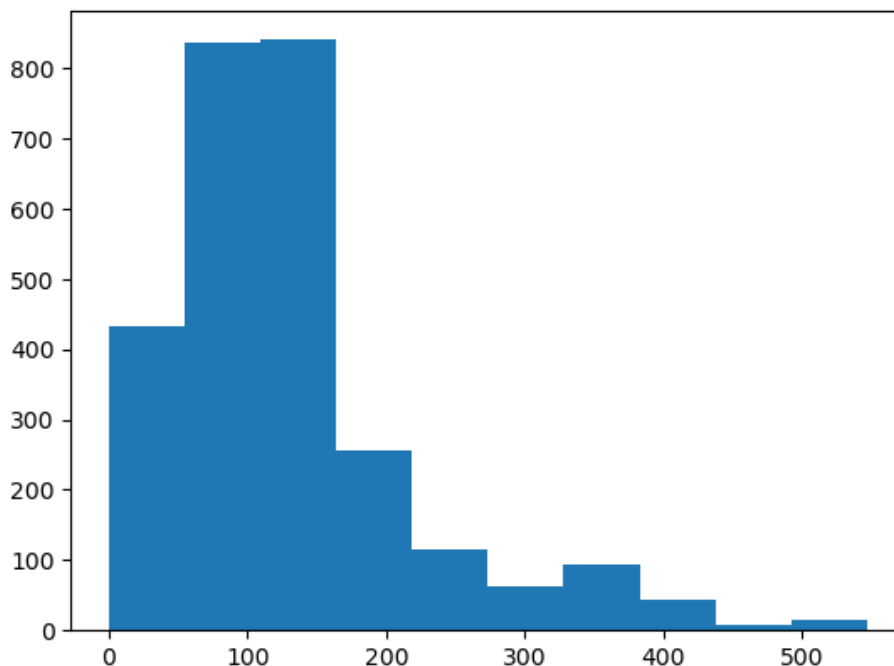
a, b = ค่าถ่วงน้ำหนัก

การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงแต่ละปัจจัย ที่ได้จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำมารวบรวมข้อมูล Input ในประเทศไทยทั้งที่เป็นแบบข้อมูลปฐมภูมิ และทุติยภูมิ สำหรับการคำนวณเป็นตัวเลขความเสี่ยง ก็คือ ตัวเลขระหว่าง 0 (ไม่มีความเสี่ยง) ไปจนถึง 100 (เสี่ยงมากที่สุด) สามารถคำนวณได้แสดงดังรูปที่ 4 คือ การนำข้อมูลรายงานตำแหน่งเกิดเหตุ (ดินถล่ม และน้ำท่วม เส้นทาง) จากรายงานค่าพิกัด และวันเดือนปีที่เกิด มาใช้ในการสกัดค่าตัวเลขจากข้อมูลปัจจัยนำเข้า (เช่น ฝน ความสูง ความสามารถในการระบายน้ำ) ณ ตำแหน่งนั้น และเวลาที่เกิดภัยพิบัติบนสายทาง ซึ่งข้อมูลที่ถูกอ่านออกมาจากวันที่เกิดเหตุจะถูกนำมาคำนวณหาค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด เพื่อใช้ในการปรับค่าให้อยู่ในช่วง 0 - 100 ด้วยวิธีการ Normalization ซึ่งค่าตัวเลขนี้จะใช้เป็นค่าบ่งชี้ของปัจจัยเสี่ยง



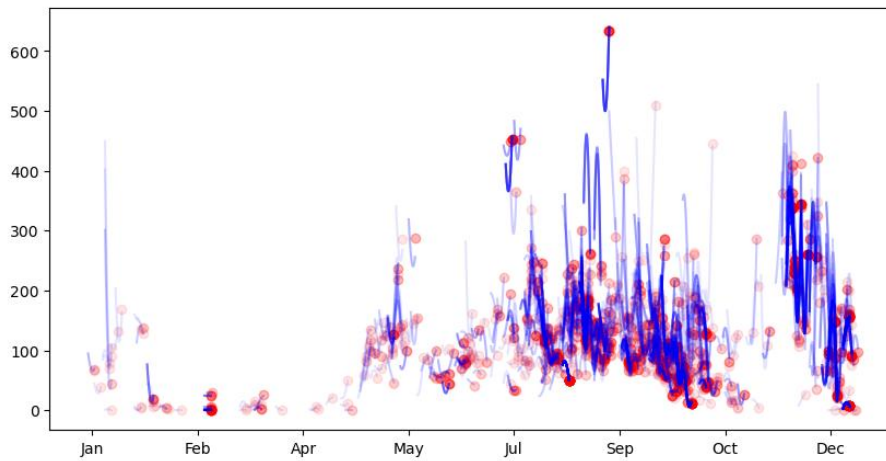
รูปที่ 4 แผนผังการพัฒนาการคำนวณค่าตัวเลขปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) ของแต่ละปัจจัย

ข้อมูลฝน เป็นข้อมูลสำคัญ ทั้งภัยดินถล่ม และภัยน้ำท่วม ข้อมูลฝนได้จากบริการคาดการณ์ฝนล่วงหน้า 7 วัน จากระบบประมวลผลและให้บริการของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ในเบื้องต้นได้นำมาวิเคราะห์เป็นปัจจัย 2 ตัว คือ ตัวแทนของปริมาณฝนรายวัน และ ตัวแทนของปริมาณฝนสะสม 3 วัน ร่วมกับวันที่เกิดเหตุการณ์ที่ได้จากรายงานการเกิดเหตุภัยพิบัติบนสายทางของกรมทางหลวง แสดงดังรูปที่ 5 ถึง รูปที่ 7 จะเห็นว่าข้อมูลปริมาณฝนทั้ง 2 ชนิด มีค่าตัวเลขสอดคล้องกับการวิจัยดินถล่มของการวัดปริมาณฝนตกจริงในพื้นที่ อธิบายได้ว่าฝนตก และมีปริมาณฝนจากระบบให้บริการของสสน. จะบ่งชี้ปริมาณฝนที่ > 100 มม. และเมื่อดูปริมาณฝนสะสม 3 วัน ก็เป็น 3 วันที่มีฝนตกเฉลี่ยสูงกว่า 100 มม./วัน เช่นเดียวกัน

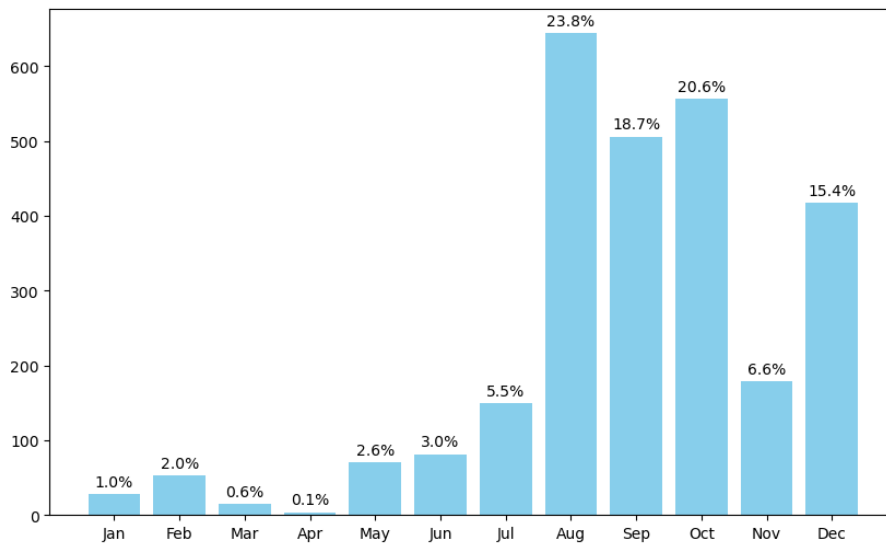


รูปที่ 5 กราฟความถี่สะสมปริมาณฝน (ข้อมูลฝนล่วงหน้า 7 วัน) ณ วันที่เกิดเหตุการณ์บนเส้นทางหลวง





รูปที่ 6 กราฟแสดงข้อมูลปริมาณฝยย้อนหลัง 3 วัน (ข้อมูลฝยล่วงหน้า 7 วัน เส้นสีน้ำเงิน) นับถอยหลังจากวันที่เกิดเหตุการณ์บนเส้นทางหลวง (จุดสีแดง)



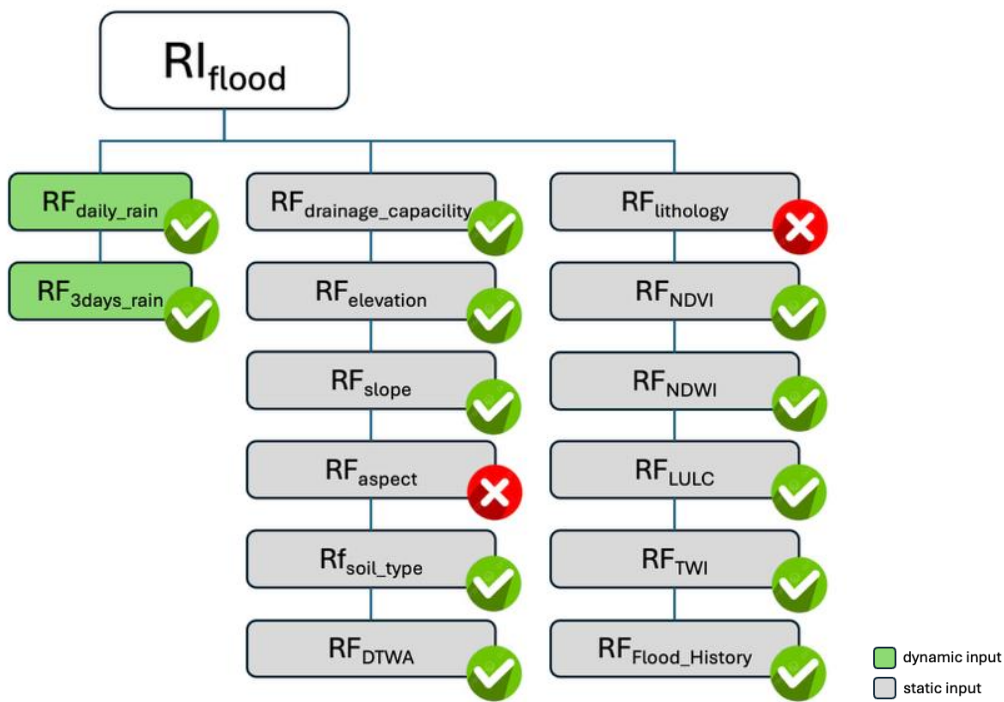
รูปที่ 7 กราฟความถี่สะสมและสัดส่วนของปริมาณการเกิดภัยบนเส้นทางหลวงแยกตามเดือน (ข้อมูลทั้งหมด 2 ปี)



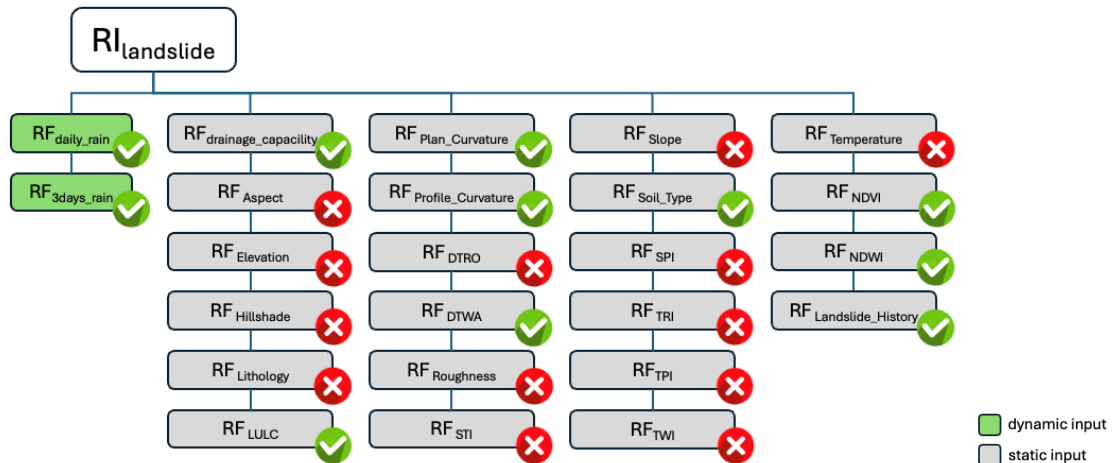
5.1 การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor)

ดังที่กล่าวแนวคิดพื้นฐานเรื่องคุณลักษณะ สาเหตุการเกิด น้ำท่วม และดินถล่ม ไปแล้วในตอนต้นของเอกสาร ปัจจัยที่ทำให้เกิดน้ำท่วมเส้นทางหลวงมีมากกว่าเพียงปัจจัยฝน ในกรณีการคำนวณเชิงเลขคณิต ปัจจัยแต่ละปัจจัยจะมีโดเมนของค่า/ปริมาณการตรวจวัดแตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส ระหว่าง 18 - 40 แต่ข้อมูลความสูงภูมิประเทศมีค่าตั้งแต่ 0 ไปจนถึงหลายพันเมตร ข้อมูลเชิงเลขต่าง ๆ เหล่านี้จะนำมาใช้คำนวณโดยตรงไม่ได้เพราะจะทำให้เกิดความเอนเอียงเนื่องจากปริมาณไม่เท่ากัน หรือมาตราส่วนไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงต้องมีการวิเคราะห์ทำให้เป็นค่าปกติ (Normalization) เสียก่อน รวมไปถึงต้องมีการวิเคราะห์การถ่วงน้ำหนักระหว่างปัจจัยด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ซึ่งในการพัฒนาจะมีแนวทางในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ในการคำนวณ “ดัชนีเสี่ยง” (Risk Index) เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์วิธีการปรับค่าด้วยวิธีการ Normalization ให้ค่าปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) มีค่าเป็นตัวเลขแสดงความเสี่ยงระหว่าง 0 - 100 ซึ่งต้องแยกวิเคราะห์รายปัจจัย จากนั้นจึงนำมาคำนวณเป็นดัชนีเสี่ยง ด้วยสมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักหลายตัวแปร ในแต่ละดัชนีมีปัจจัยเสี่ยง แตกต่างกันไปแสดงดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9 สำหรับปัจจัยเสี่ยงจากลักษณะหิน (Lithology) ข้อมูลที่เผยแพร่ในประเทศไทยเป็นระบบ WMS (Web Map Service) ซึ่งเป็นข้อมูลภาพแผนที่ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เชิงตัวเลขได้จึงได้ตัดออกไป



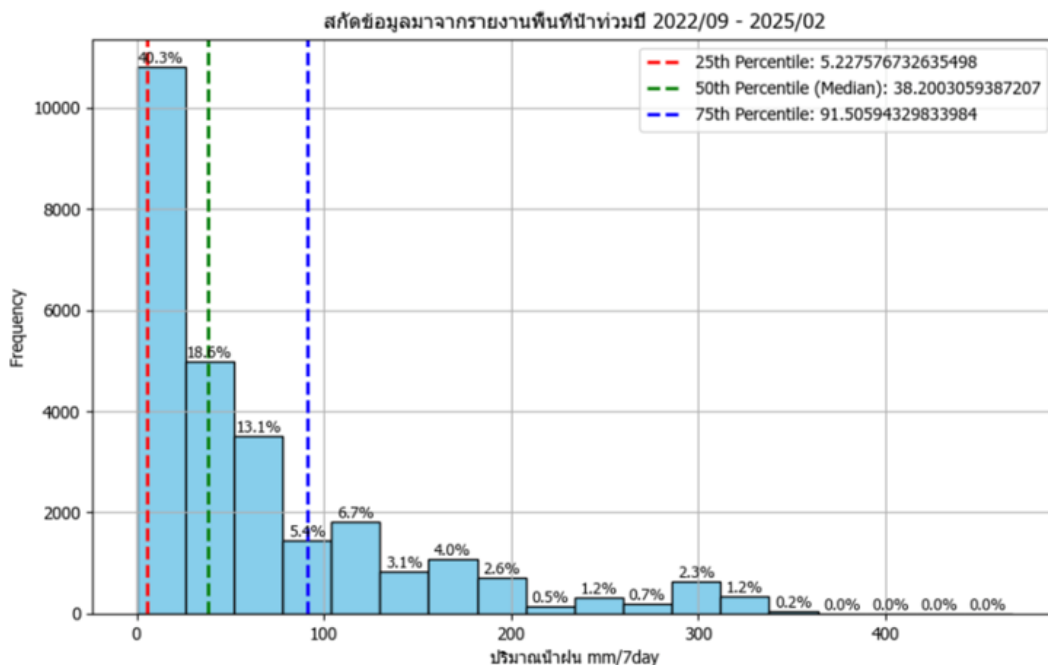
รูปที่ 8 ปัจจัยเสี่ยง 14 ปัจจัยในการเกิดน้ำท่วมแนวสายทาง ประกอบด้วยปัจจัยฝน (สีเขียว) และปัจจัยทางการภาพของตำแหน่งเส้นทาง (สีเทา) คำนวณถ่วงน้ำหนักด้วยสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร เป็นดัชนีเสี่ยงน้ำท่วม



รูปที่ 9 ปัจจัยเสี่ยง 24 ปัจจัยในการเกิดดินถล่มตามแนวสายทาง ประกอบด้วยปัจจัยฝน (สีเขียว) และปัจจัยทางกายภาพของตำแหน่งเส้นทาง (สีเทา) คำนวณถ่วงน้ำหนักด้วยสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร เป็นดัชนีเสี่ยงดินถล่ม

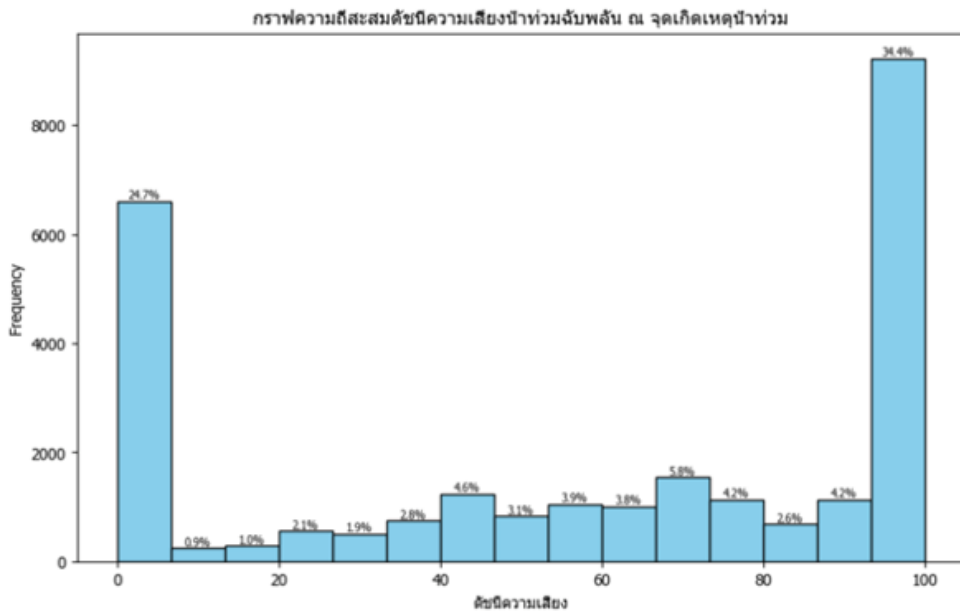
5.2 กลุ่มชั้นข้อมูลปัจจัยเสี่ยงน้ำท่วม (Flood)

ปัจจัยเสี่ยงน้ำท่วม RI_{flood} วิเคราะห์จากปัจจัยปริมาณฝน และปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ จำนวนทั้งสิ้น 14 ปัจจัย โดยการนำตำแหน่งรายงานเกิดน้ำท่วมสายทาง วันเดือนปี ที่เกิด มาสกัดข้อมูล เพื่อหาค่าสถิติ ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด สำหรับสร้างสมการ Normalization ในการปรับค่าตรวจวัด เป็นค่าความเสี่ยง 0 (ไม่เสี่ยง) - 100 (เสี่ยงมากที่สุด) ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปต่อไปนี้

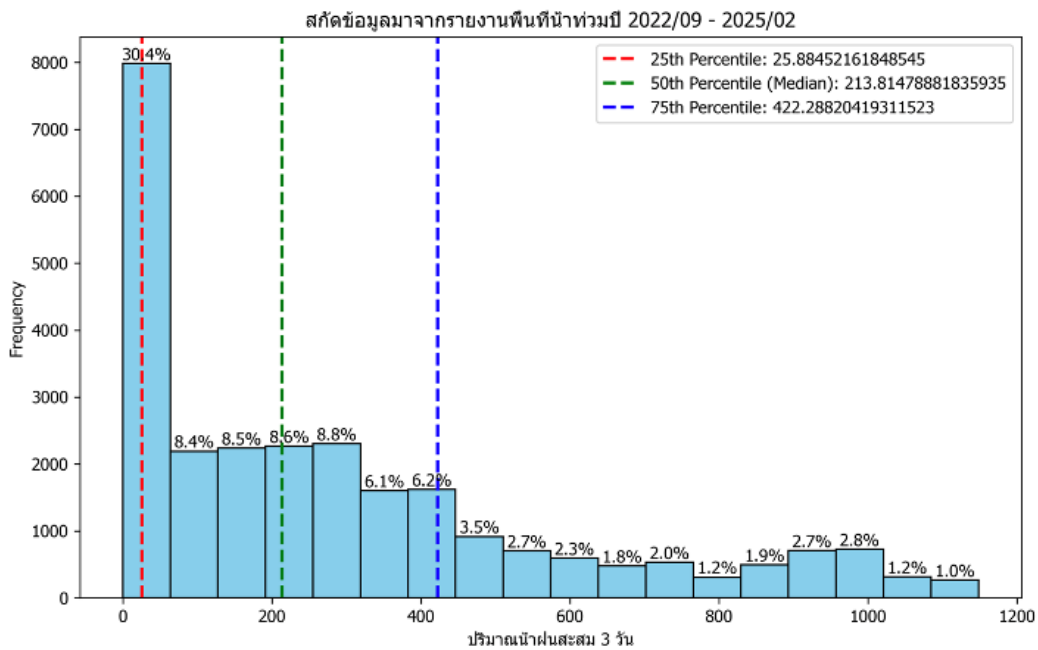


รูปที่ 10 ปริมาณฝนตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล

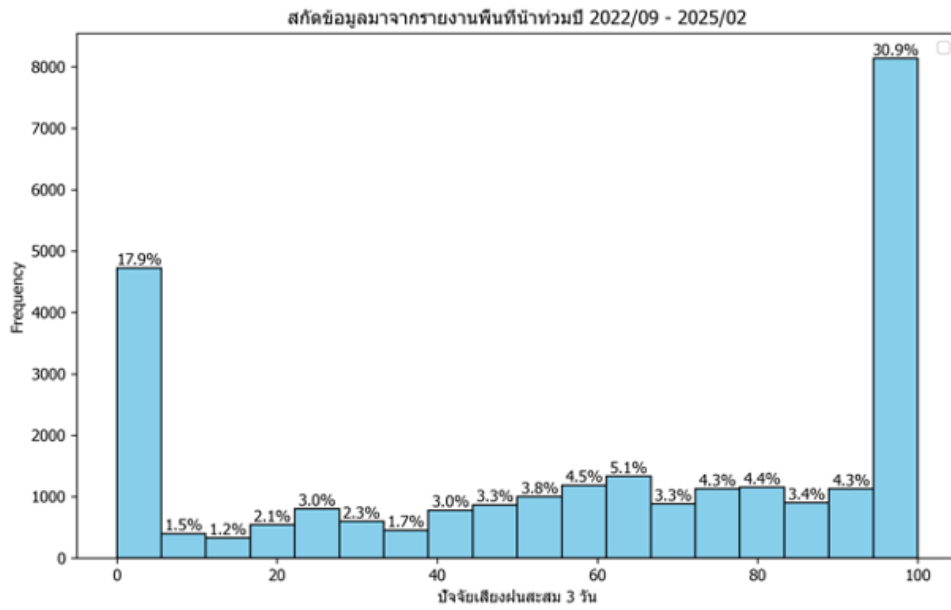




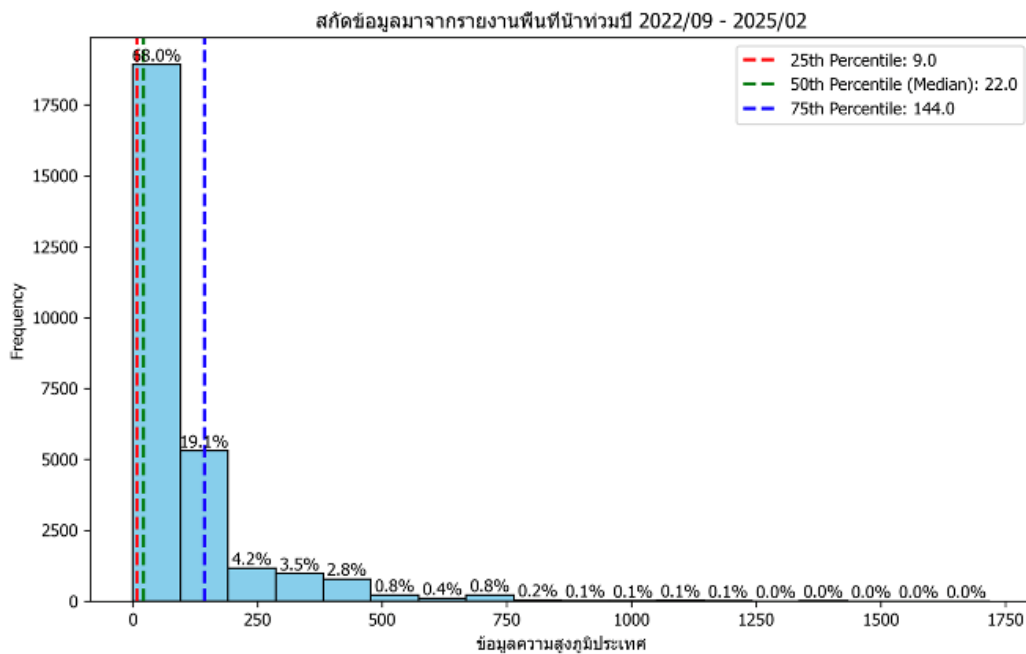
รูปที่ 11 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ฝนรายวัน (RF_{daily_rain}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization



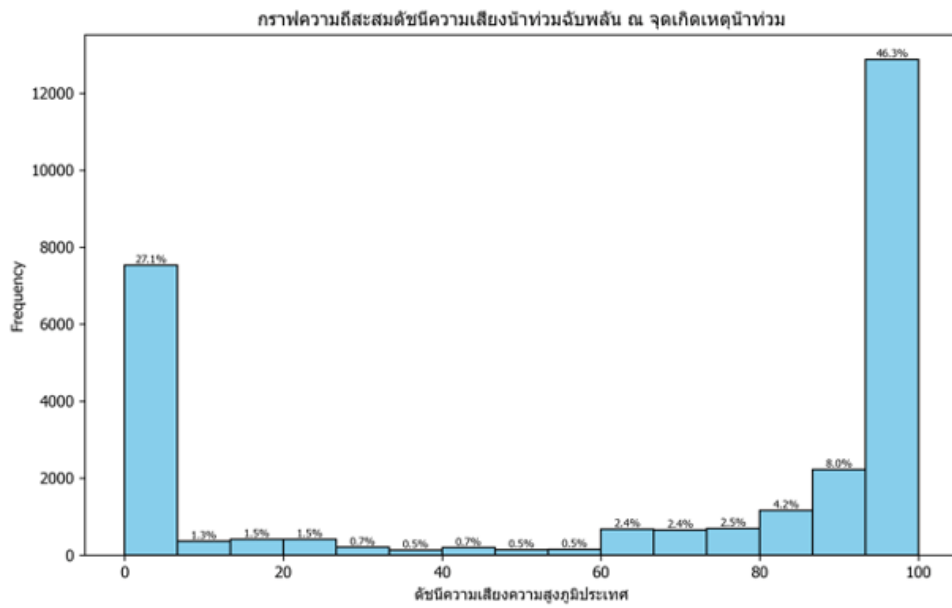
รูปที่ 12 ปริมาณฝนสะสม 3 วัน (นับถอยหลัง) จากตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



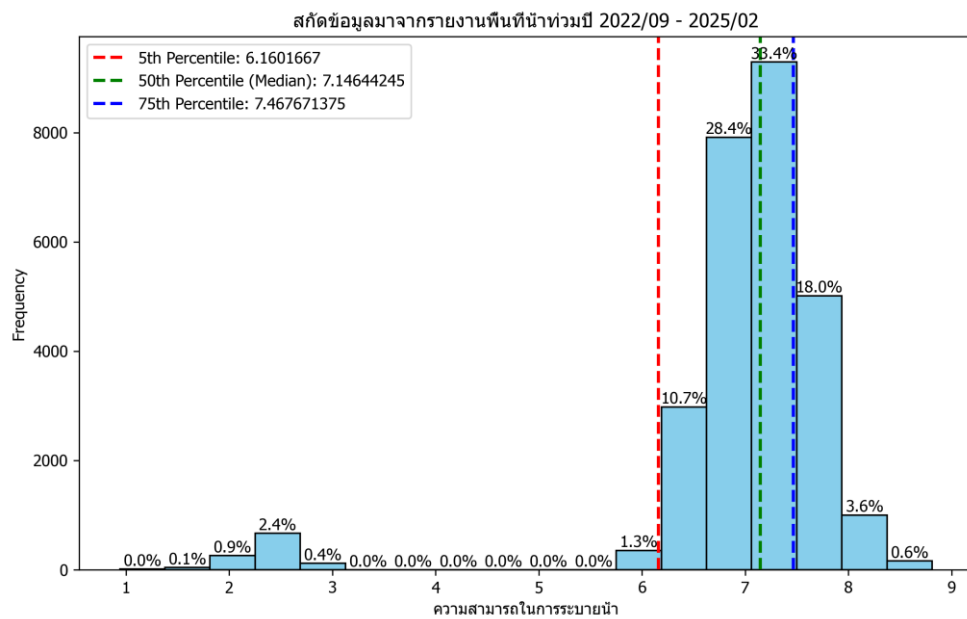
รูปที่ 13 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ฝนสะสม 3 วัน (RF_{3days_rain}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization



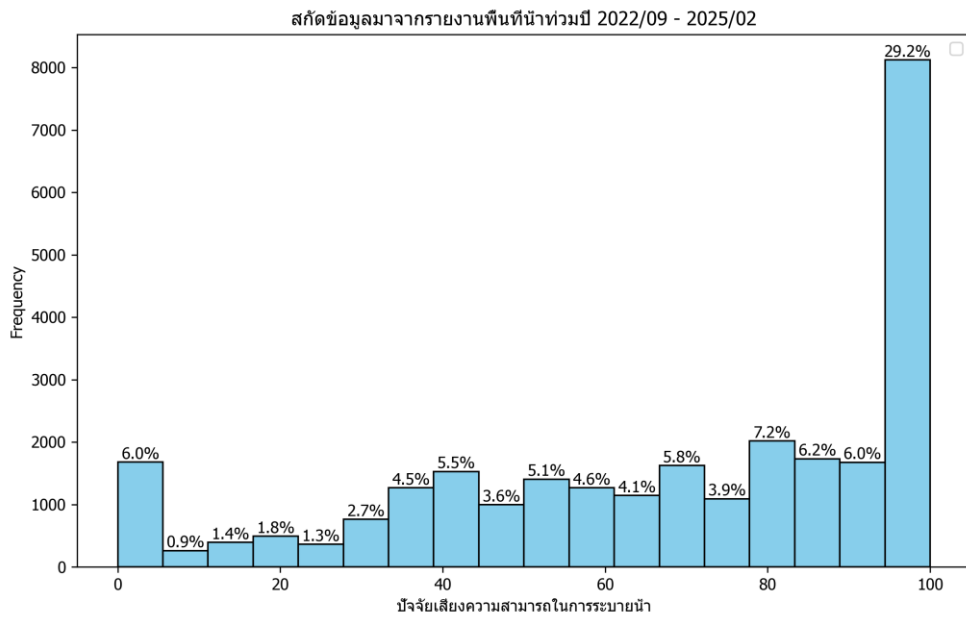
รูปที่ 14 ความสูงภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



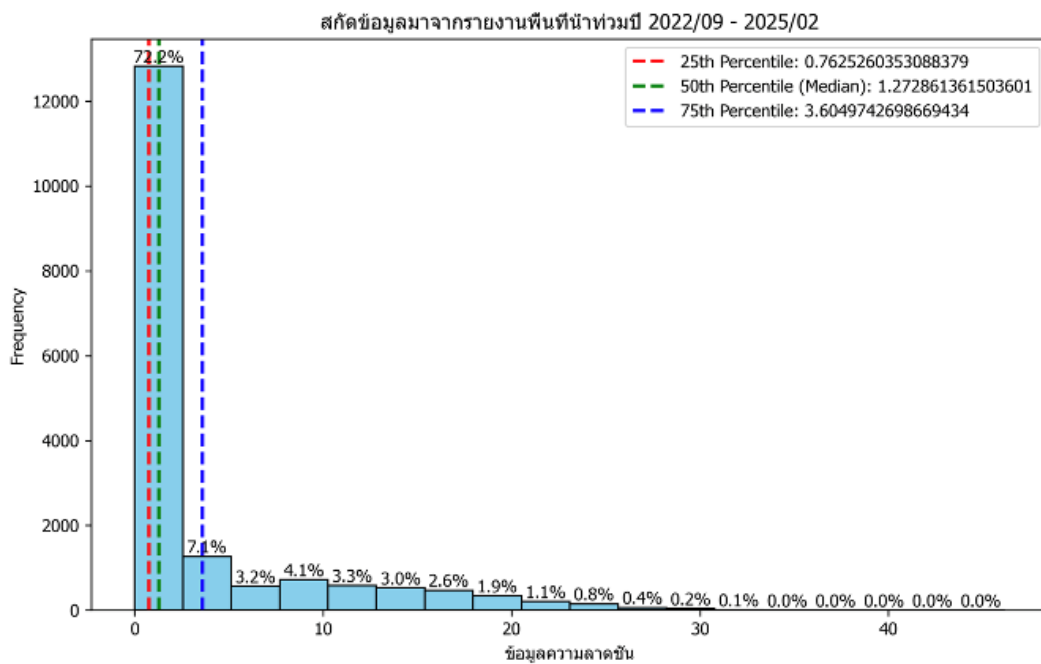
รูปที่ 15 ดัชนีปัจจัยเสี่ยงความสูงภูมิประเทศ ($RF_{elevation}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization



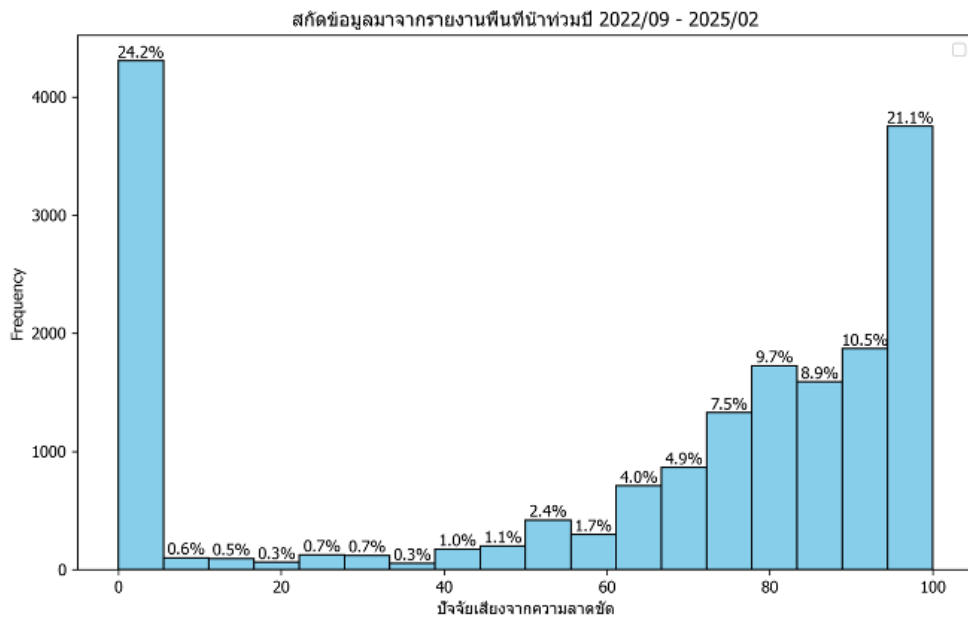
รูปที่ 16 ความสามารถในการระบายน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



รูปที่ 17 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความสามารถในการระบายน้ำ (RF_{drainage_capability}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization



รูปที่ 18 ความลาดชัน ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล

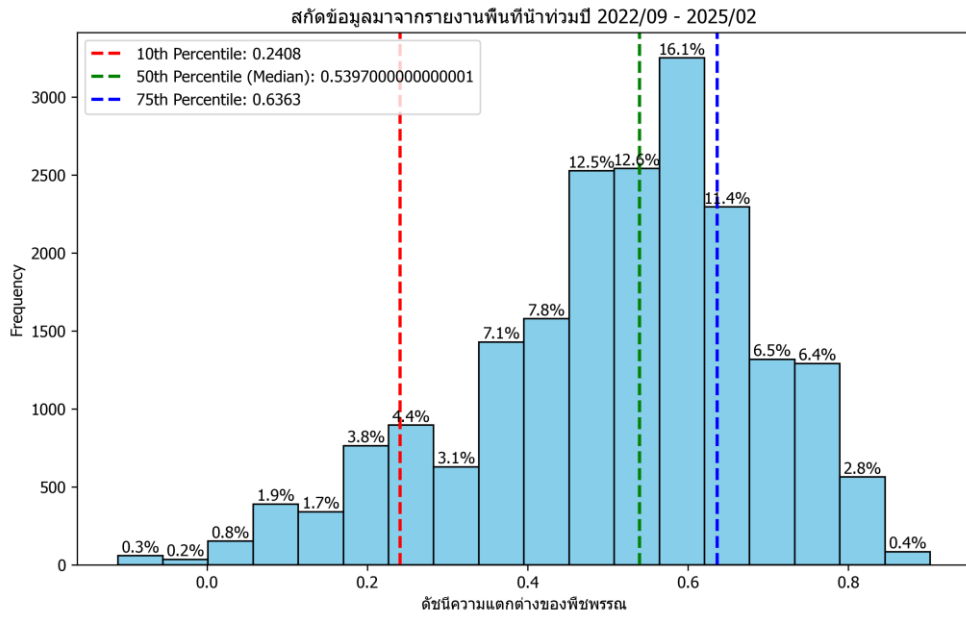


รูปที่ 19 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความลาดชัน (RF_{slope}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization

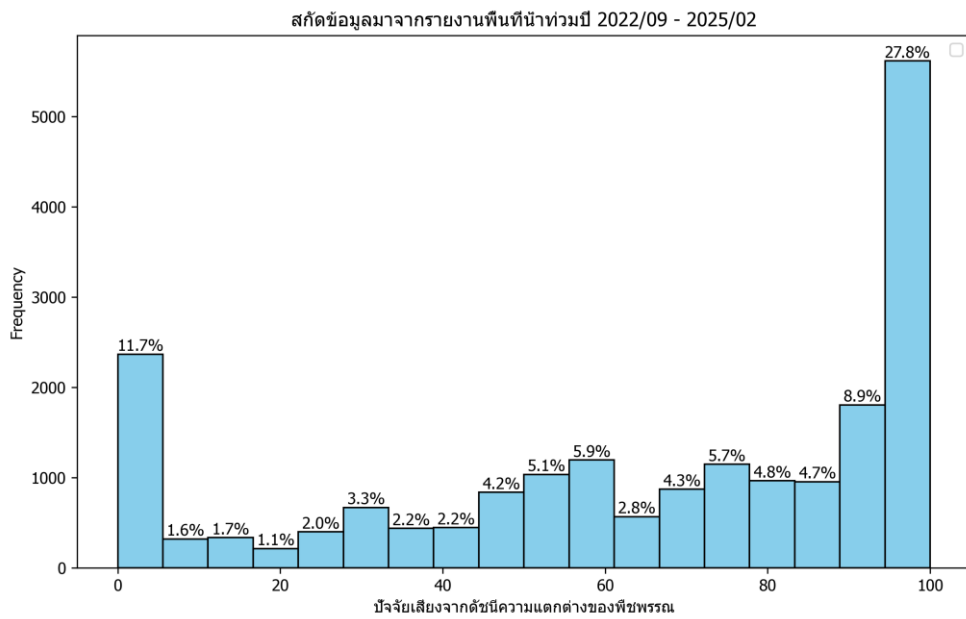
รูปที่ 19 จำนวนจุดที่เกิดน้ำท่วมจำนวน 24.20% ที่มีค่าปัจจัยเสี่ยงเข้าใกล้ 0 นั้นน่าจะเป็นสาเหตุมาจากการพังทลายของ backslope () ซึ่งข้อมูลความลาดชันคำนวณจากข้อมูล DEM ความละเอียด 30x30 ตร.เมตร นั้นหยาบเกินไปจึงไม่สามารถตรวจพบได้ ดังนั้น ต้องอาศัยความสามารถของปัจจัยเสี่ยงด้านอื่น ๆ ช่วยในการตรวจจับ



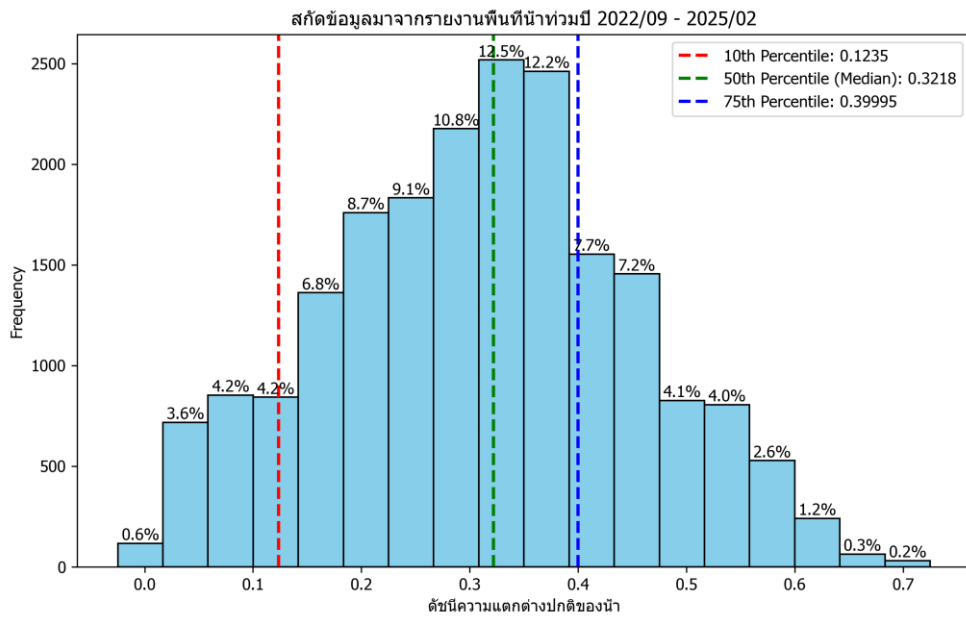
รูปที่ 20 ตัวอย่าง backslope จากงานวิศวกรรมเขตทางที่มีความละเอียดเกินกว่าข้อมูล DEM จะตรวจความลาดชันจากลาด backslope นี้ได้



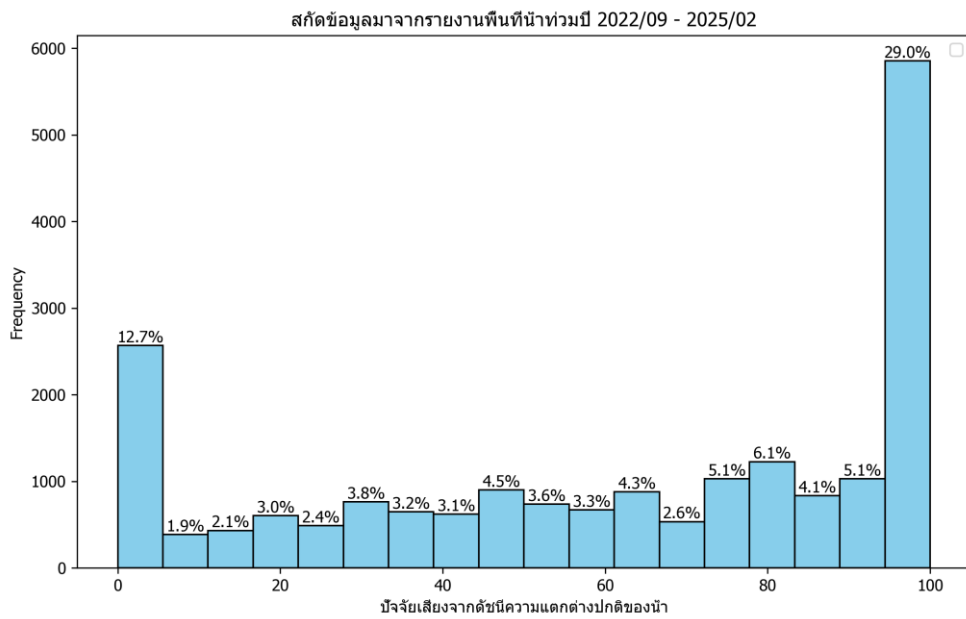
รูปที่ 21 ดัชนีความแตกต่างปกติของพืชพรรณ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



รูปที่ 22 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความแตกต่างปกติของพืชพรรณ (RF_{NDVI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วม จากการปรับ Normalization



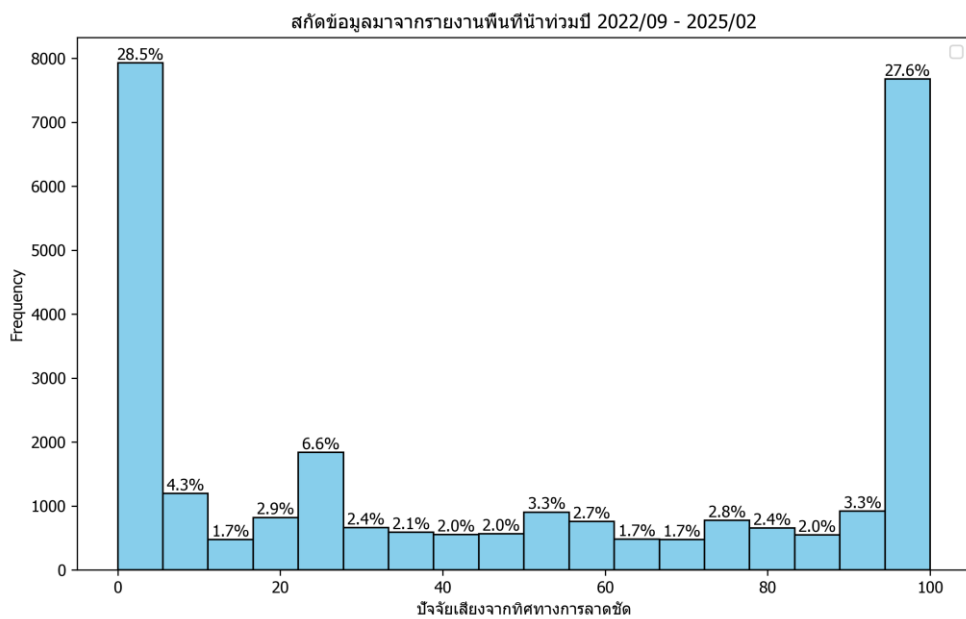
รูปที่ 23 ดัชนีความแตกต่างปกติของน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



รูปที่ 24 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความแตกต่างปกติของน้ำ (RF_{NDWI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization

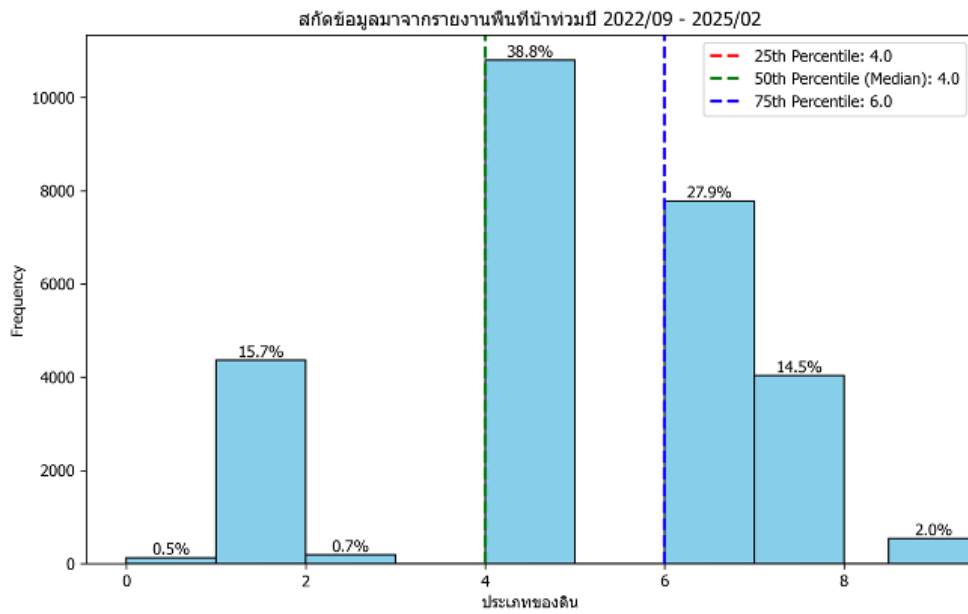


รูปที่ 25 ทิศทางความลาดชัน ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล

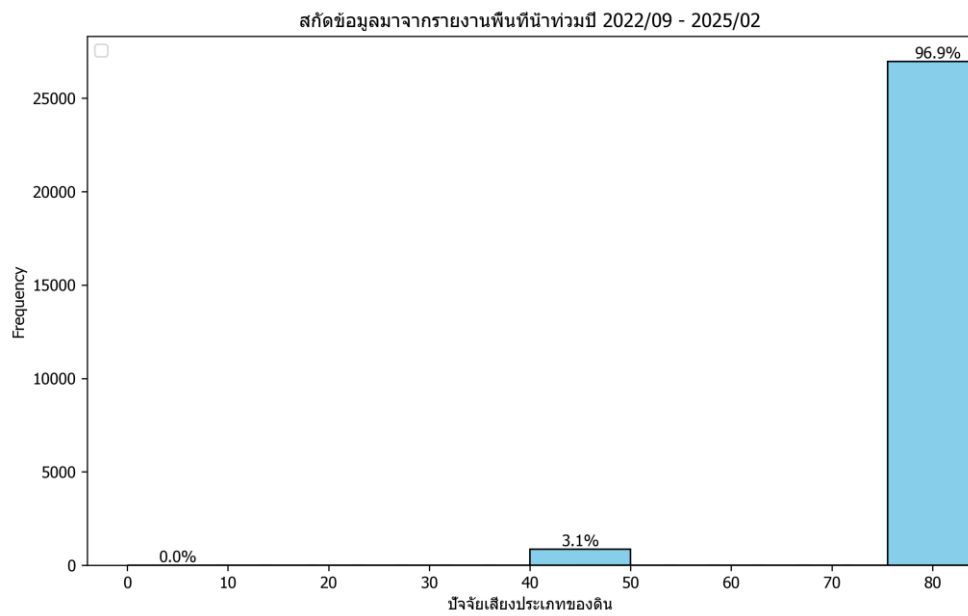


รูปที่ 26 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ทิศทางความลาดชัน (RF_{aspect}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization

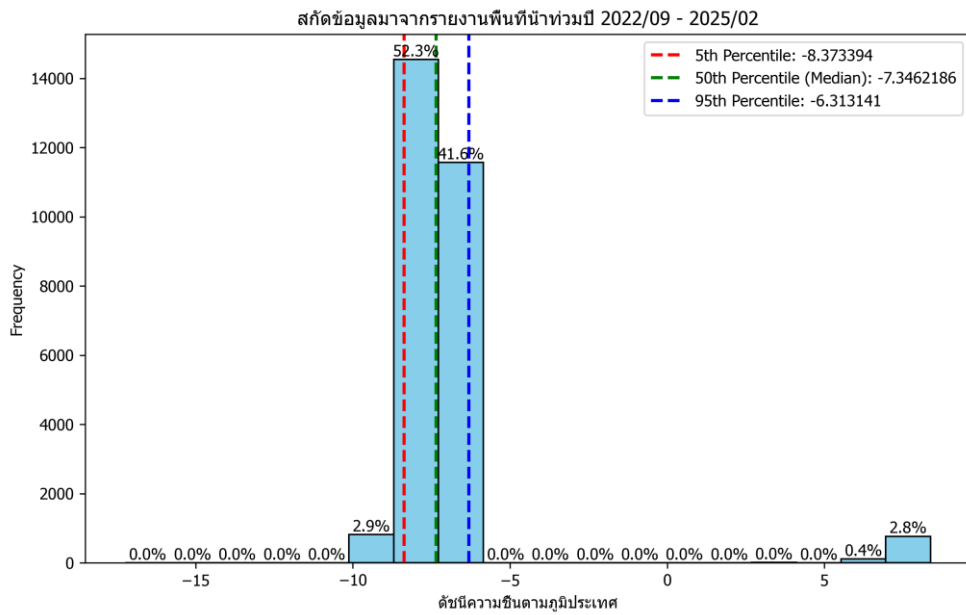
รูปที่ 25 และรูปที่ 26 การกระจายตัวของปัจจัยเสี่ยงทิศทางความลาดชัน กระจายทั่วทั้งค่า 0 ถึง 100 จากตำแหน่งที่เกิดน้ำท่วมแสดงว่าข้อมูลทิศทางความลาดชันที่คำนวณจากข้อมูล DEM ไม่สามารถใช้เป็นปัจจัยในการคำนวณความเสี่ยงน้ำท่วมได้



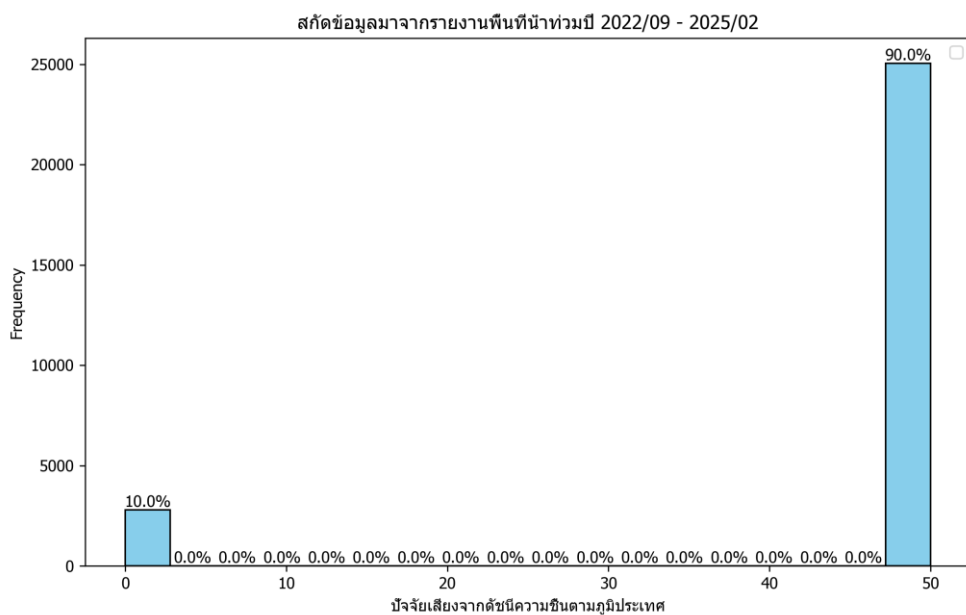
รูปที่ 27 ข้อมูลปัจจัยเสี่ยง ประเภทของดิน (RF_{soil_type}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วม โดยจะทำการแบ่งตามประเภทของดินแทนการทำ Normalization



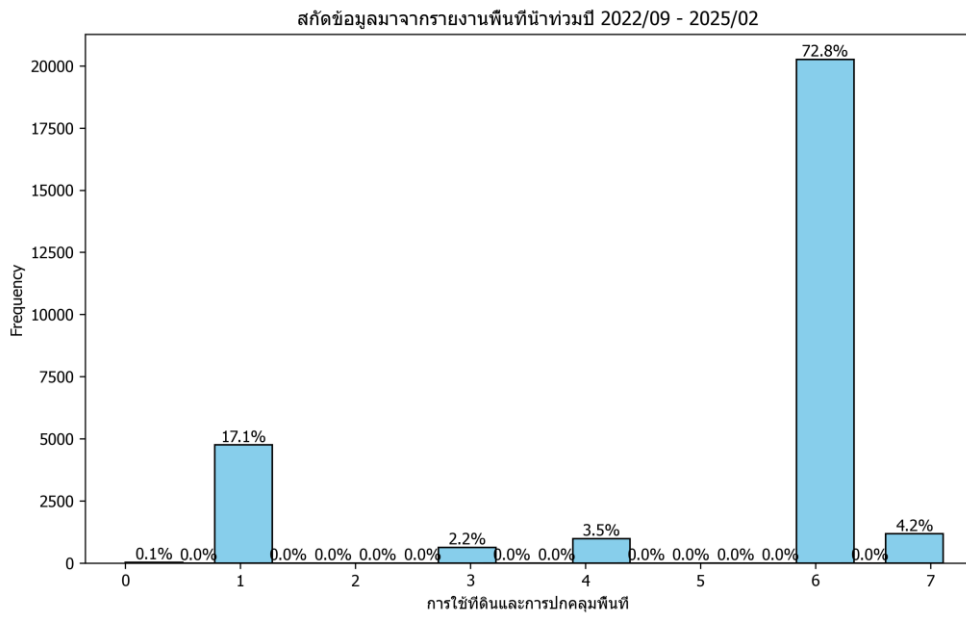
รูปที่ 28 ผลจากการแบ่งระดับความเสี่ยงตามประเภทของดิน



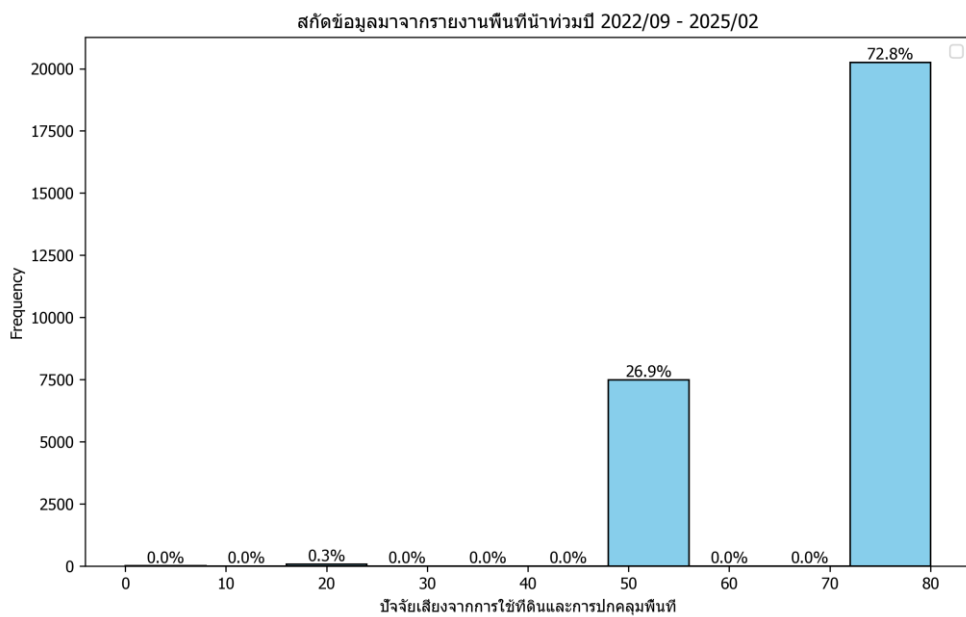
รูปที่ 29 ดัชนีความชื้น ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



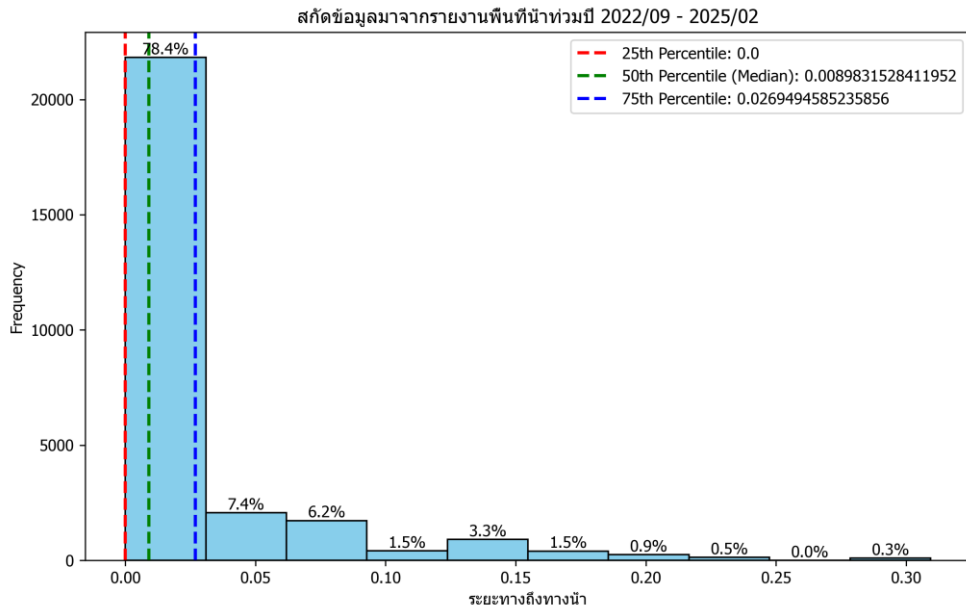
รูปที่ 30 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความชื้น (RF_{TWI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization



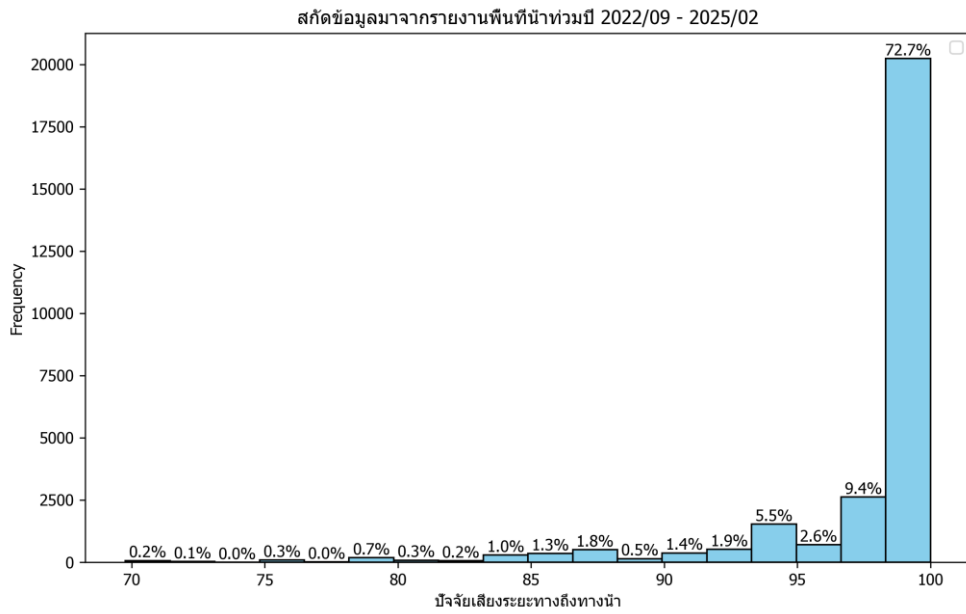
รูปที่ 31 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LULC) แบ่งปัจจัยเสี่ยงตามการพิจารณาประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน



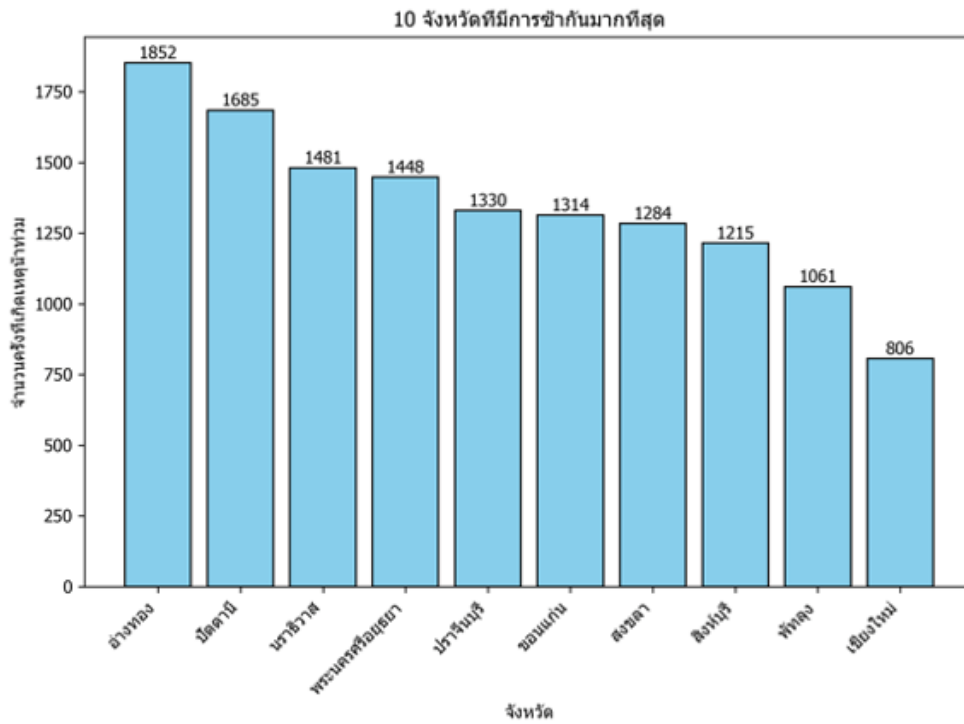
รูปที่ 32 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LULC) ที่คำนวณเป็นปัจจัยเสี่ยงแล้ว



รูปที่ 33 ระยะทางจากจุดเกิดเหตุถึงทางน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดน้ำท่วมระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล

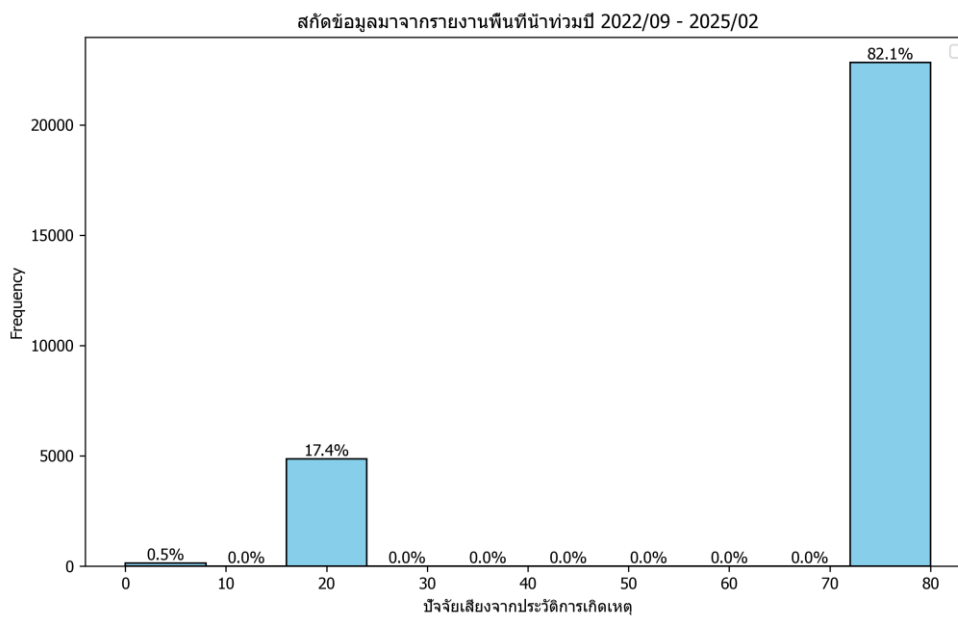


รูปที่ 34 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ระยะทางจากจุดเกิดเหตุถึงทางน้ำ (RF_{DTWA}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำท่วมจากการปรับ Normalization



รูปที่ 35 ข้อมูลสถิติการเกิดซ้ำซากแยกตามจังหวัด

ข้อมูลสะสมจาก ปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์)



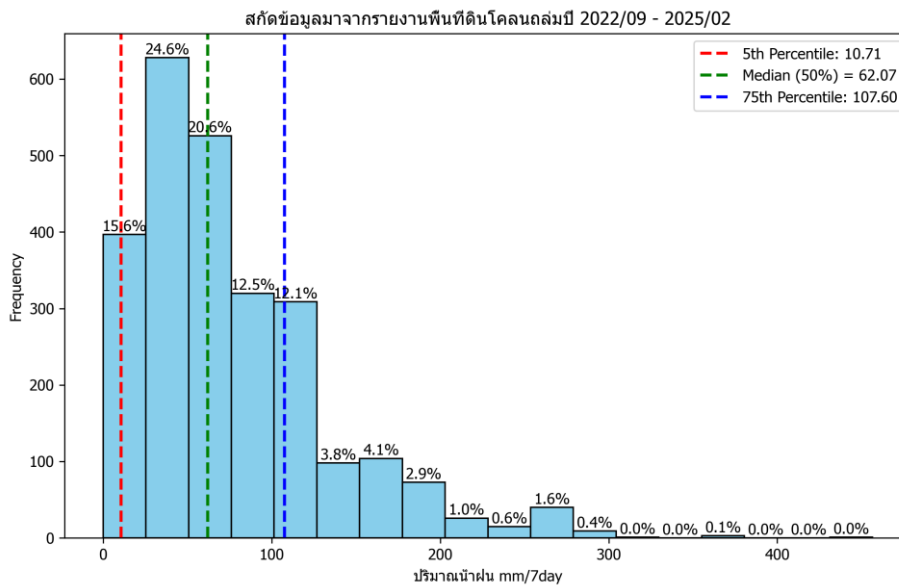
รูปที่ 36 จากข้อมูลสถิติการเกิดซ้ำซากแยกตามจังหวัด

นำมาคำนวณเป็นค่าความเสี่ยงจากสถิติได้เป็นปัจจัยเสี่ยง



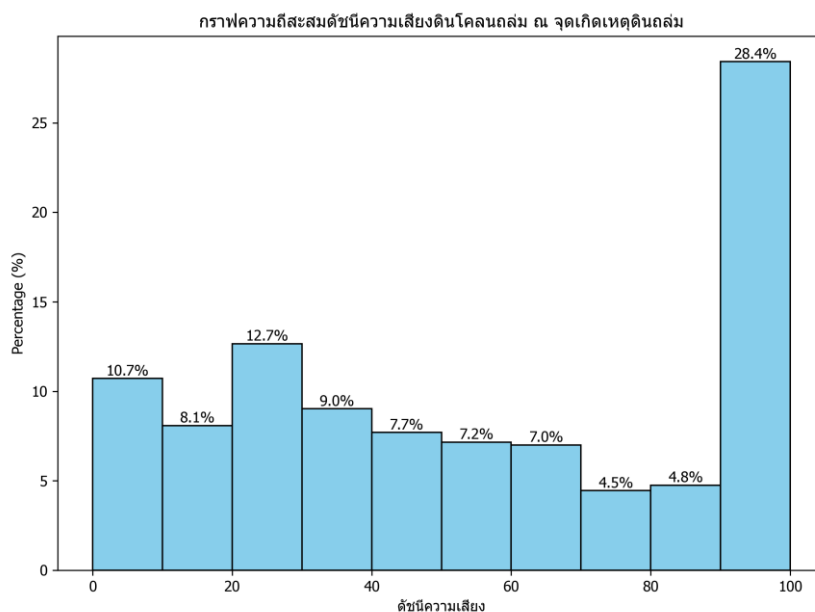
5.3 กลุ่มชั้นข้อมูลปัจจัยเสี่ยงดินถล่ม (Landslide)

ปัจจัยเสี่ยงดินถล่มวิเคราะห์จากปัจจัยปริมาณฝน และปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ จำนวนทั้งสิ้น 23 ปัจจัย โดยการนำตำแหน่งรายงานเกิดดินถล่มสายทาง วันเดือนปี ที่เกิด มาสกัดข้อมูลเพื่อหาค่าสถิติ ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด สำหรับสร้างสมการ Normalization ในการปรับค่าตรวจวัดเป็นค่าความเสี่ยง 0 (ไม่เสี่ยง) - 100 (เสี่ยงมากที่สุด) ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปต่อไปนี้

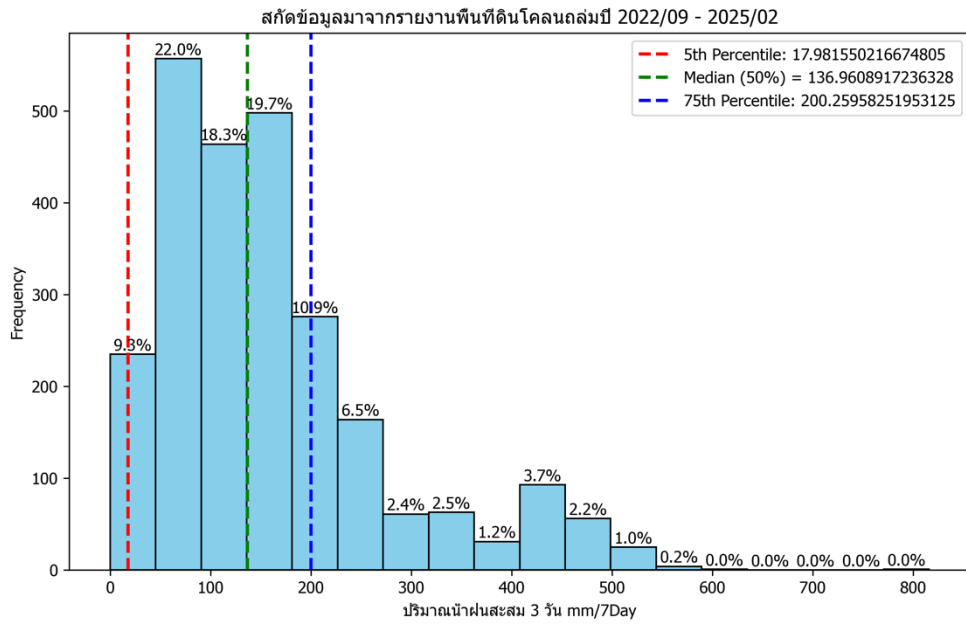


รูปที่ 37 ปริมาณฝน ณ ตำแหน่งเกิดดินถล่มสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน)

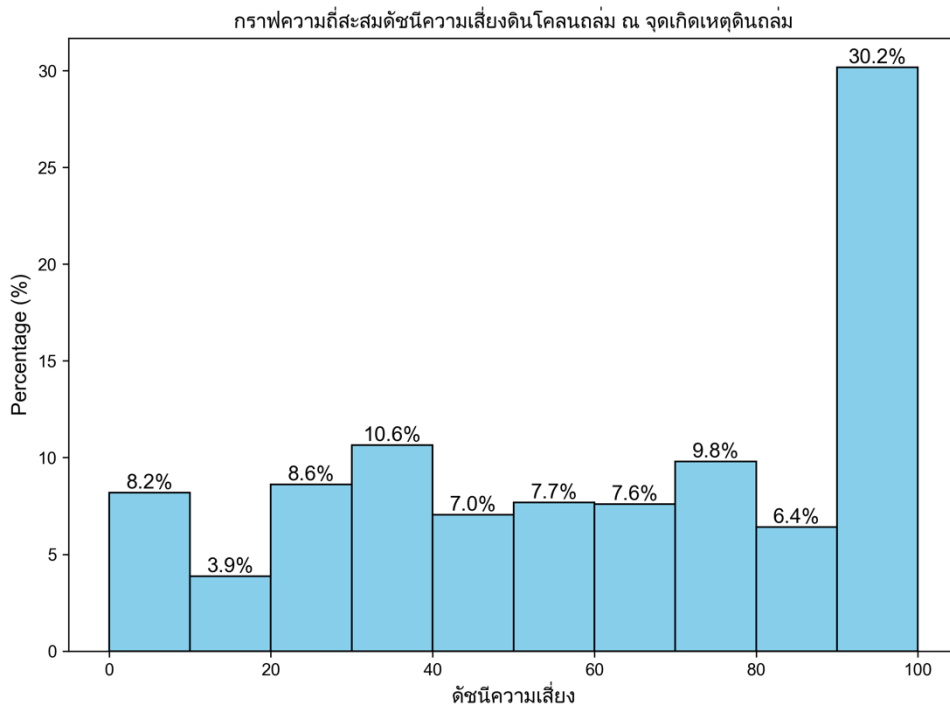
คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



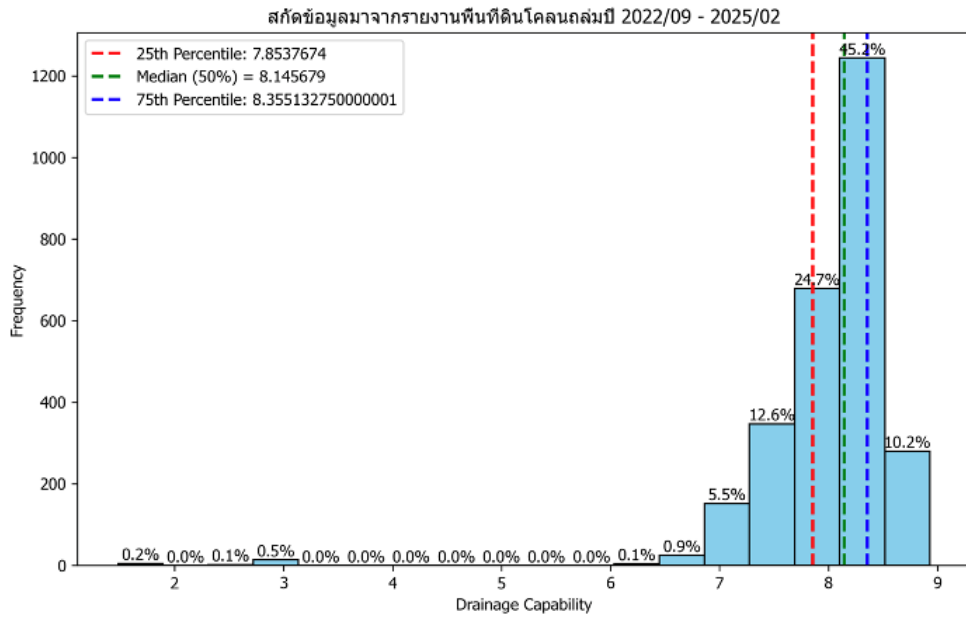
รูปที่ 38 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ฝนรายวัน (RF_{daily_rain}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่มจากการปรับ Normalization



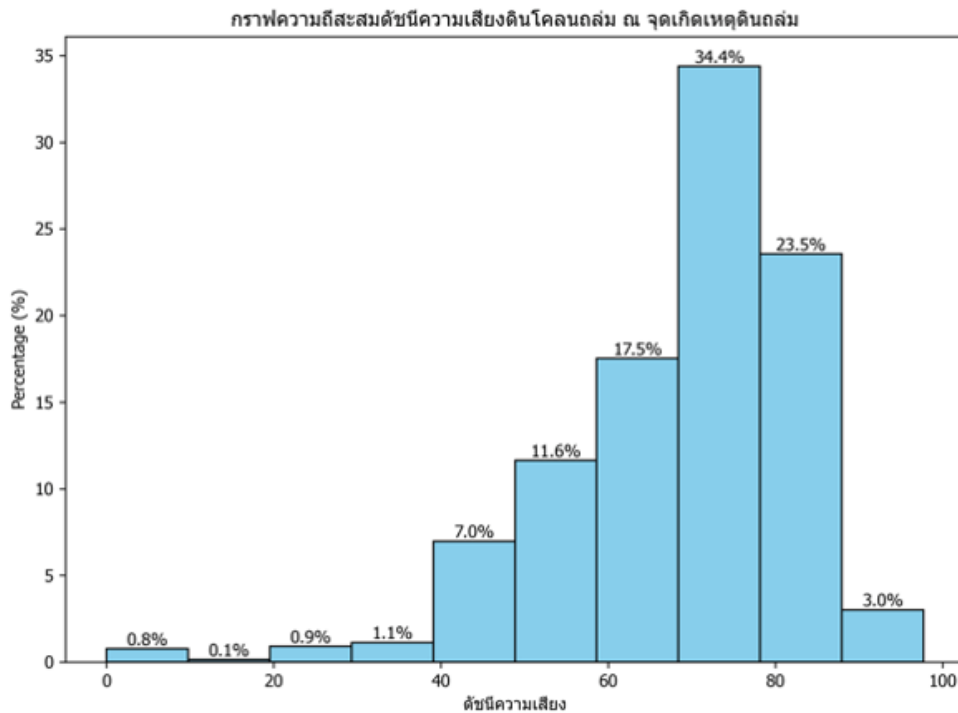
รูปที่ 39 ปริมาณฝนสะสมย้อนหลัง 3 วัน ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



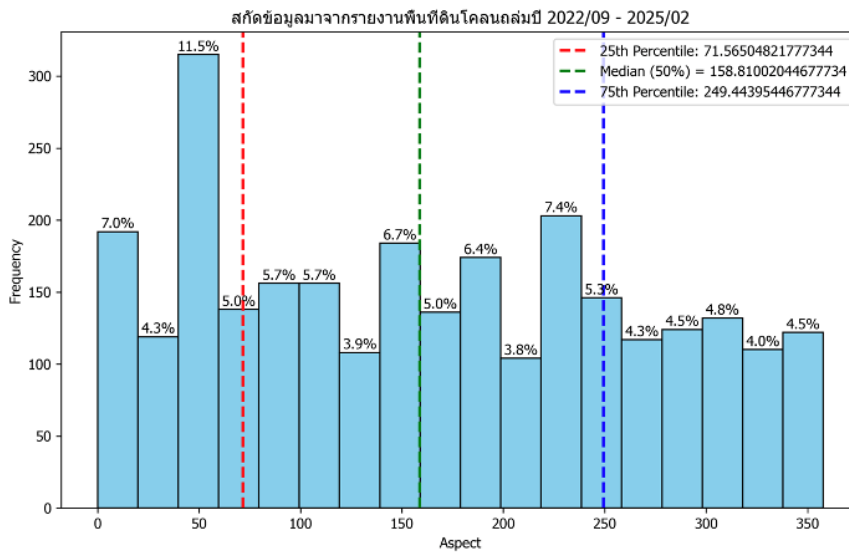
รูปที่ 40 ดัชนีปัจจัยเสี่ยงปริมาณฝนสะสมย้อนหลัง 3 วัน (RF_{3days_rain}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization



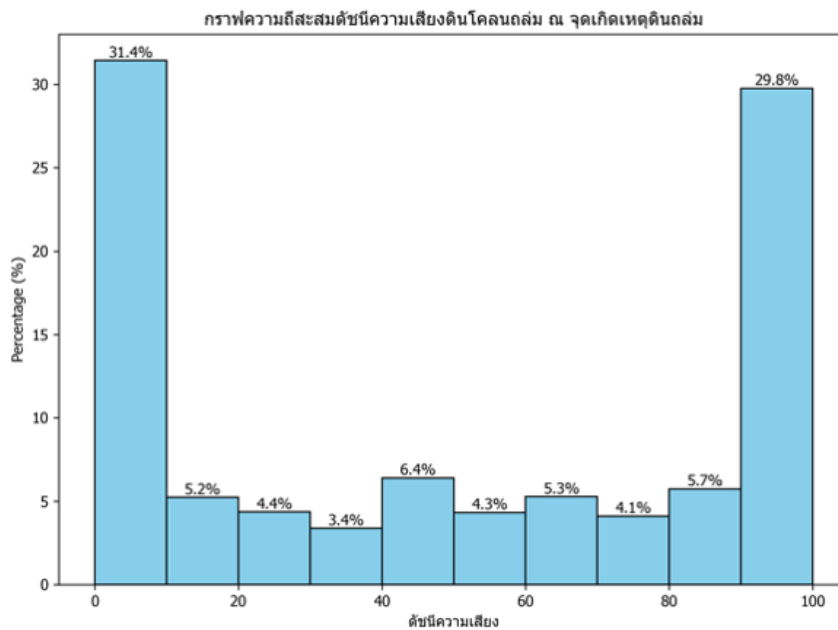
รูปที่ 41 ความสามารถในการระบายน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



รูปที่ 42 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความสามารถในการระบายน้ำ ($RF_{\text{drainage_capability}}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization

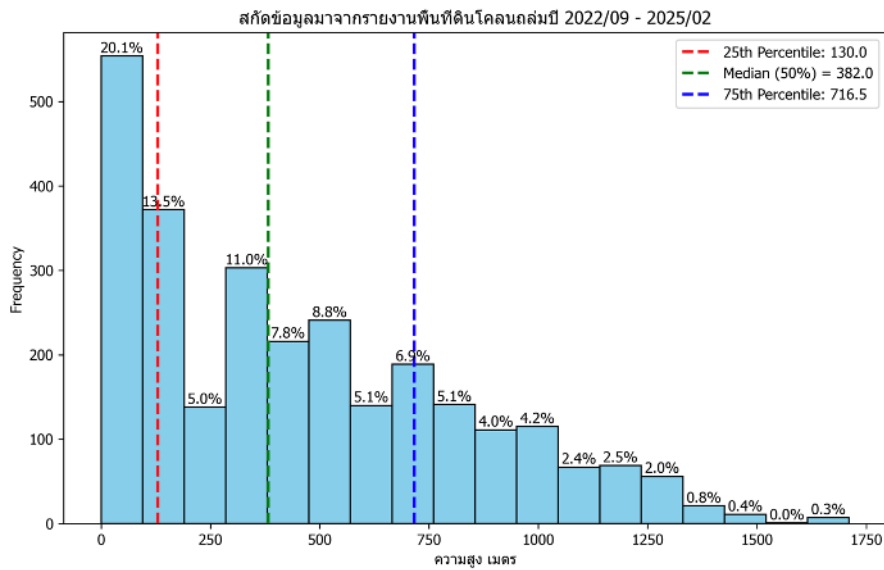


รูปที่ 43 ทิศทางความลาดชัน ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล

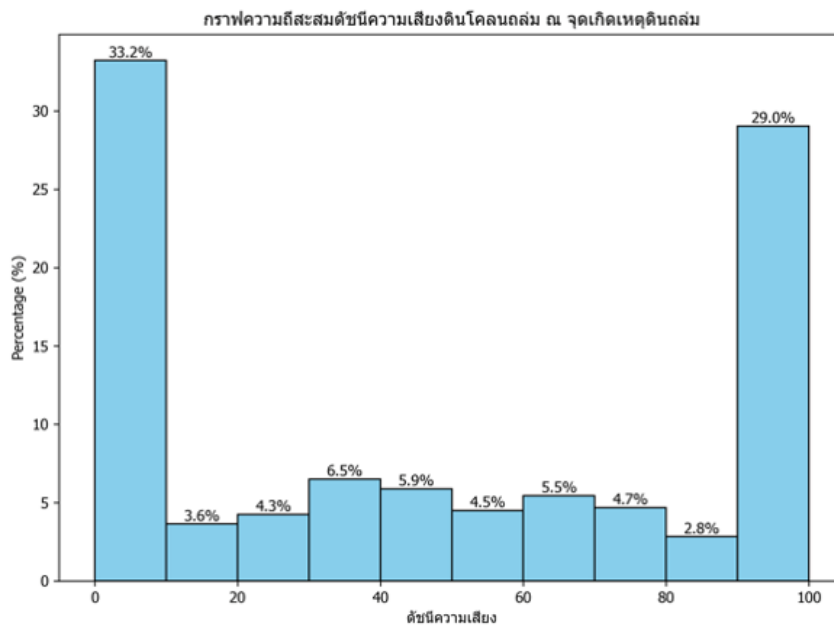


รูปที่ 44 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ทิศทางความลาดชัน (RF_{aspect}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization

รูปที่ 43 และรูปที่ 44 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลทิศทางความลาดชันจากตำแหน่งรายงานจุดเกิดดินโคลนถล่มสายทางซึ่งกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอไปทุกความชัน และเมื่อปรับเป็นปัจจัยเสี่ยง 0 - 100 ก็ไม่สามารถแสดงความถูกต้องในการเป็นปัจจัยเสี่ยงได้เพราะค่าปัจจัยเสี่ยงกระจายตัวไปทาง 0 (ไม่เสี่ยง) และ 100 (เสี่ยงที่สุด) เท่า ๆ กัน ดังนั้นจึงต้องตัดปัจจัยเสี่ยงจากความชันนี้ออกจากสมการในการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่ม

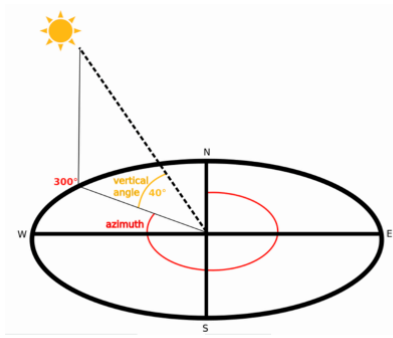


รูปที่ 45 ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



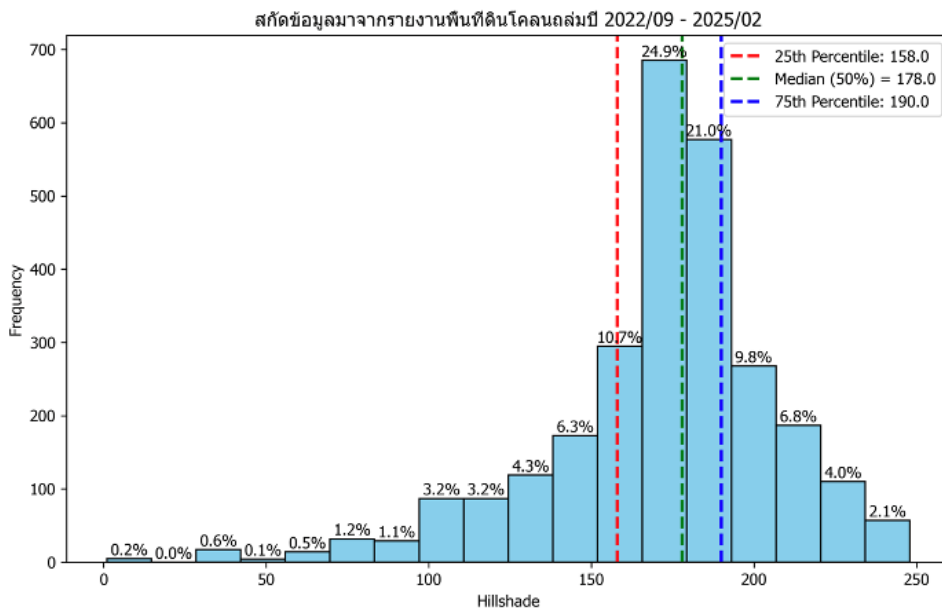
รูปที่ 46 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง ($RF_{elevation}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่มจากการปรับ Normalization

รูปที่ 45 และรูปที่ 46 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสูงภูมิประเทศจากตำแหน่งรายงานจุดเกิดดินโคลนถล่มสายทางซึ่งกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอไปทุกความชัน และเมื่อปรับเป็นปัจจัยเสี่ยง 0 - 100 ก็ไม่สามารถแสดงความถูกต้องในการเป็นปัจจัยเสี่ยงได้เพราะค่าปัจจัยเสี่ยงกระจายตัวไปทาง 0 (ไม่เสี่ยง) และ 100 (เสี่ยงที่สุด) เท่า ๆ กัน ดังนั้นจึงต้องตัดปัจจัยเสี่ยงจากความสูงภูมิประเทศนี้ออกจากสมการในการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่ม

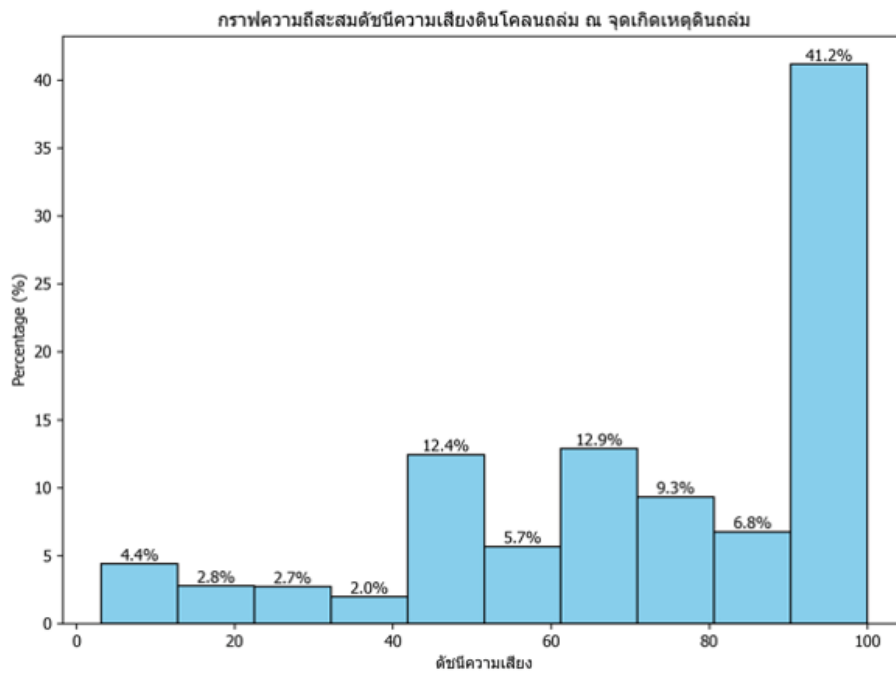


- Azimuth = 315
- Altitude = 45
- ทำให้ร่องรอย “break-in-slope” สกปรก และโคลนถล่มปลายต่ำ (debris toe)
ปรากฏชัดเจนขึ้น ช่วยวาดขอบเขตดินถล่มเก่า-ใหม่ได้แม่นยำขึ้น
- ด้านลาดที่หัน รับแสง (NW-facing) จะสว่าง
- ด้านตรงข้าม (SE-facing) จะมืด ช่วยขับเน้นสันเขา-หุบเขา ที่วางตัวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้
- ค่าการตกกระทบของแสง
- ยิ่งค่ามากก็แปลว่า มีการตกกระทบของแสงสูง

รูปที่ 47 การคำนวณเงาเนินเขาจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)

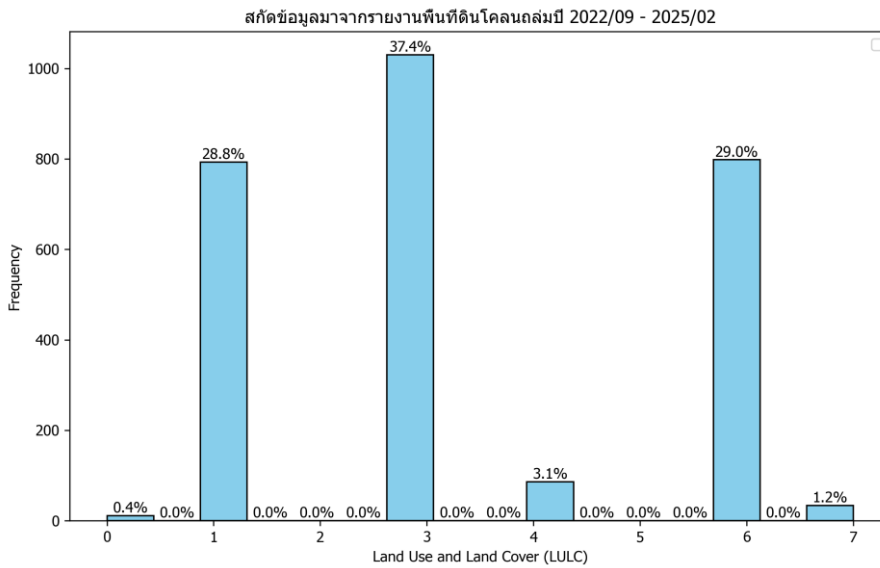


รูปที่ 48 เงาภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) จำนวนจากควอไทล์ของข้อมูล



รูปที่ 49 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง เงามูมิประเทศ (RF_{hillshade}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่มจากการปรับ Normalization

รูปที่ 47 ถึง รูปที่ 49 แสดงข้อมูลการคำนวณเงามูมิประเทศจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) ทั้งการคำนวณ Normalization จากค่าสถิติที่นำมาจากตำแหน่งเกิดเหตุดินโคลนถล่มบนสายทางจริง และการทำเป็นปัจจัยเสี่ยงที่มีค่าระหว่าง 0 - 100 แม้ว่าข้อมูลจะให้ลักษณะตัวเลขที่สมเหตุสมผล แต่เมื่อพิจารณาแนวคิดทางภูมิศาสตร์ว่าประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นทิวเขาทอดตัวในแนวทิศเหนือ - ใต้ เป็นส่วนใหญ่ทำให้ด้านเงามูมิประเทศส่วนใหญ่จะอยู่ที่ทิศตะวันออกและตะวันตก จึงทำให้ค่าอยู่ระหว่าง 150 ถึง 200 ดังนั้นในความเป็นจริงแล้วดัชนีนี้ก็ไม่ได้มีความสมเหตุสมผลทางภูมิศาสตร์เพราะว่าดินถล่มเกิดในทิศทางใดก็ได้ จึงนำปัจจัยเสี่ยงนี้ออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยงดินโคลนถล่ม

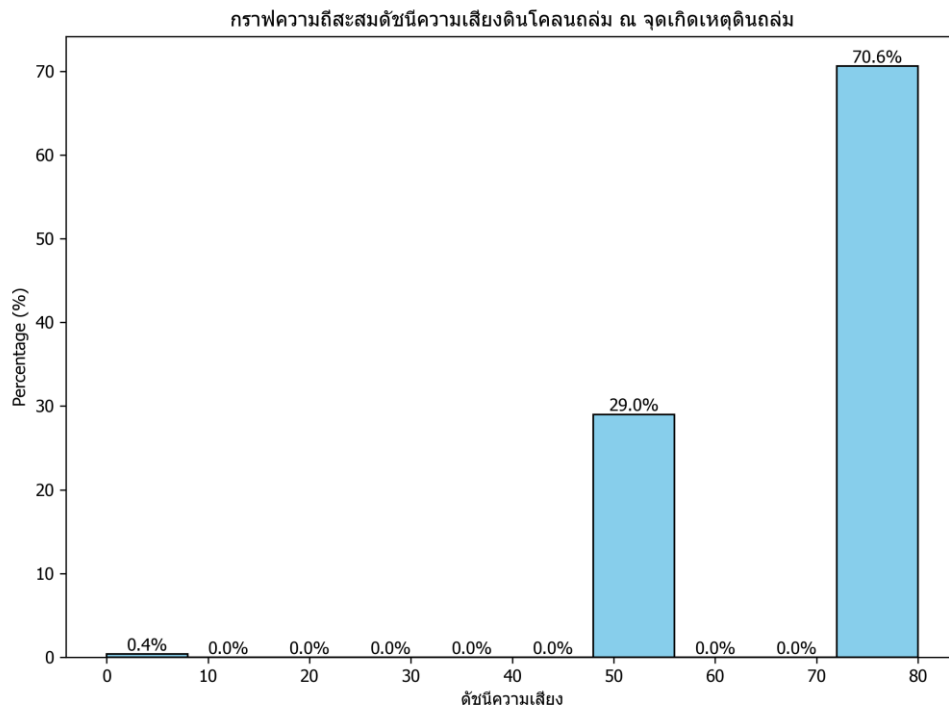


รูปที่ 50 ปัจจัยเสี่ยงที่แบ่งตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (RF_{LULC}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม

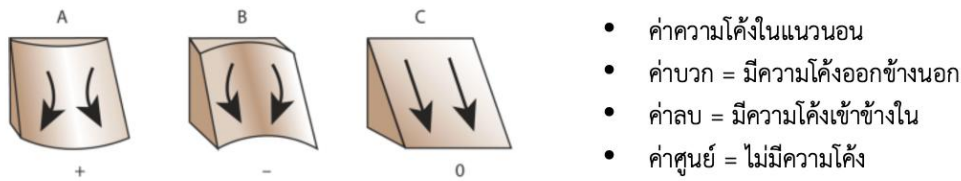
การแบ่งปัจจัยเสี่ยงให้กับข้อมูลประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจะไม่ทำการคำนวณจากการทำ Normalization เนื่องจากข้อมูลประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นข้อมูล Classification ที่ไม่ใช่ Continuous Data จึงแบ่งเกณฑ์ตามเงื่อนไขดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 50)

- 1 = พื้นที่เกษตร (A) เสี่ยง 80
- 2 = พื้นที่เกษตรและป่าไม้ (A/F) เสี่ยง 80
- 3 = พื้นที่ป่าไม้ (F) เสี่ยง 80
- 4 = พื้นที่ผสม (M) เสี่ยง 80
- 5 = พื้นที่ผสมและการเกษตร (M+A) เสี่ยง 80
- 6 = พื้นที่เมือง (U) เสี่ยง 50
- 7 = พื้นที่ชุ่มน้ำ (W) เสี่ยง 80

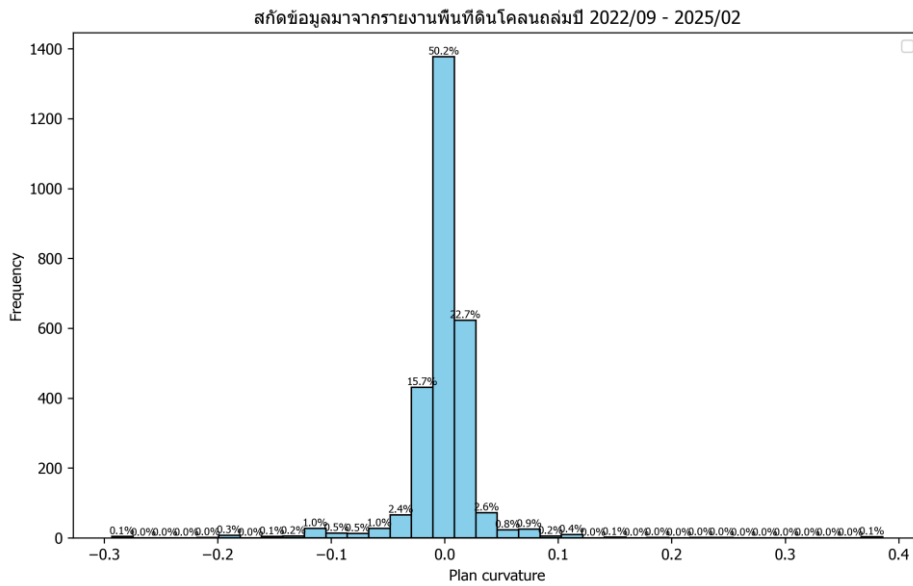
ผลการกำหนดเกณฑ์ความเสี่ยงให้กับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน แล้วนำกลับไปสู่ตัวเลข จากจุดที่เกิดภัยดินโคลนถล่มจากรายงานอีกครั้ง แสดงให้เห็นว่าการกำหนดตัวเลขดังกล่าวนี้ มีความสมเหตุสมผลเนื่องจากส่วนใหญ่มีค่าเกิน 50 ขึ้นไป แสดงดังรูปที่ 51



รูปที่ 51 ระดับความเสี่ยงจากปัจจัยเสี่ยงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (RF_{LULC}) เมื่อนำกลับไปเก็บข้อมูลจากตำแหน่งที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม



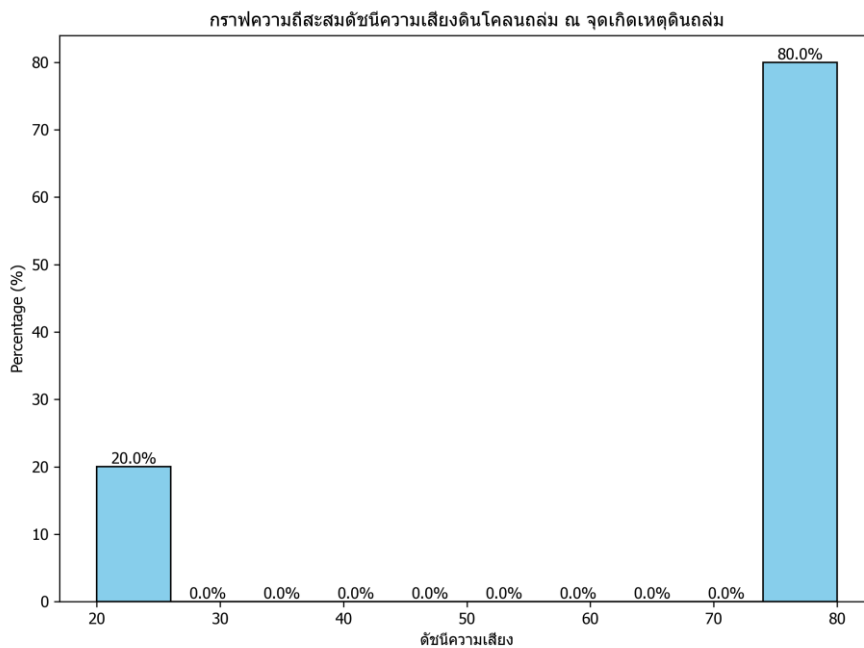
รูปที่ 52 การคำนวณโค้งราบ (plan curvature) จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) ซึ่งจะให้ค่าเป็นตัวเลขระหว่าง -1.0 ถึง +1.0



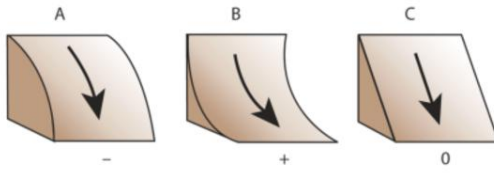
รูปที่ 53 เมื่อนำข้อมูลปัจจัยเสี่ยงจากความโค้งราบไปสกัดข้อมูลจากตำแหน่งรายงานที่เกิดดินโคลนถล่ม สายทางจะได้สถิติค่าความโค้งแนวราบระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 ซึ่งค่าส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้กับค่า 0

เนื่องจากความเสี่ยงจากความโค้งราบ แสดงดังรูปที่ 53 ส่วนใหญ่คืออยู่ในแนวเส้นทางตรง ดังนั้นจึงควรกำหนดเป็นช่วงความเสี่ยงแทนการใช้วิธีการ Normalization จากสถิติ ดังนี้

- ค่าน้อยกว่า -0.02 ให้มีความเสี่ยง 20
- ค่าระหว่าง -0.02 ถึง +0.02 ให้มีความเสี่ยง 80
- ค่ามากกว่า +0.02 ให้มีความเสี่ยง 20

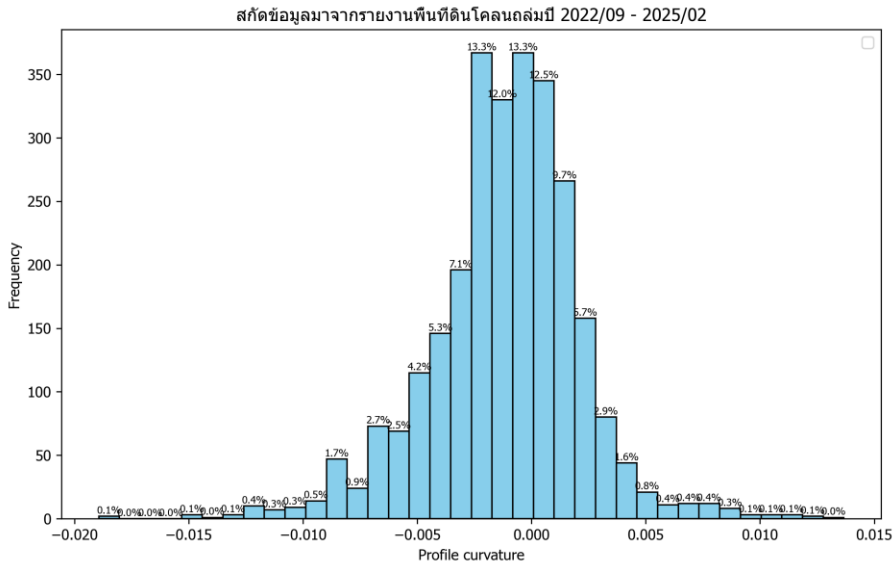


รูปที่ 54 ผลจากการคำนวณค่าปัจจัยเสี่ยงจากความโค้งราบเมื่อนำกลับไปสกัดข้อมูล ณ ตำแหน่งที่รายงานเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางได้สถิติค่าปัจจัยเสี่ยงส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 70 - 80



- ค่าความโค้งในแนวดิ่ง
- ค่าบวก = มีความโค้งลงข้างล่าง
- ค่าลบ = มีความโค้งขึ้นข้างบน
- ค่าศูนย์ = ไม่มีความโค้ง

รูปที่ 55 การคำนวณค่าความโค้งในแนวดิ่งจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) ซึ่งจะให้ค่าเป็นตัวเลขระหว่าง -1.0 ถึง +1.0



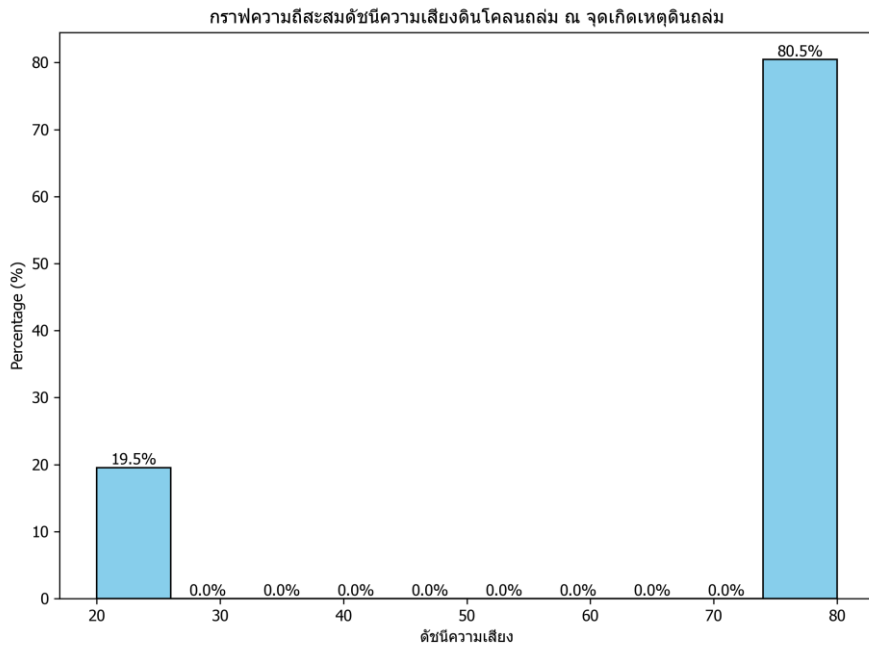
รูปที่ 56 ข้อมูลสถิติจากตำแหน่งรายงานเกิดดินโคลนถล่ม

เมื่อนำมาอ่านข้อมูลค่าความโค้งแนวดิ่งข้อมูลส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้กับค่า 0

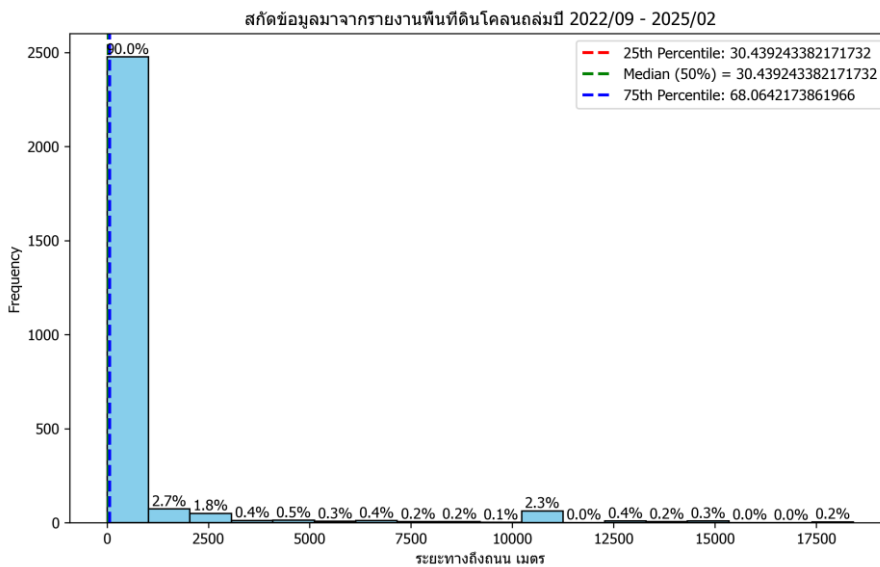
เนื่องจากความเสี่ยงจากความโค้งราบ แสดงดังรูปที่ 56 ส่วนใหญ่คืออยู่ในแนวเส้นทางตรง

ดังนั้นจึงควรกำหนดเป็นช่วงความเสี่ยงแทนการใช้วิธีการ Normalization จากสถิติ ดังนี้

- ค่าน้ำกว่า -0.004 ให้มีความเสี่ยง 20
- ค่าระหว่าง -0.004 ถึง +0.004 ให้มีความเสี่ยง 80
- ค่ามากกว่า +0.004 ให้มีความเสี่ยง 20

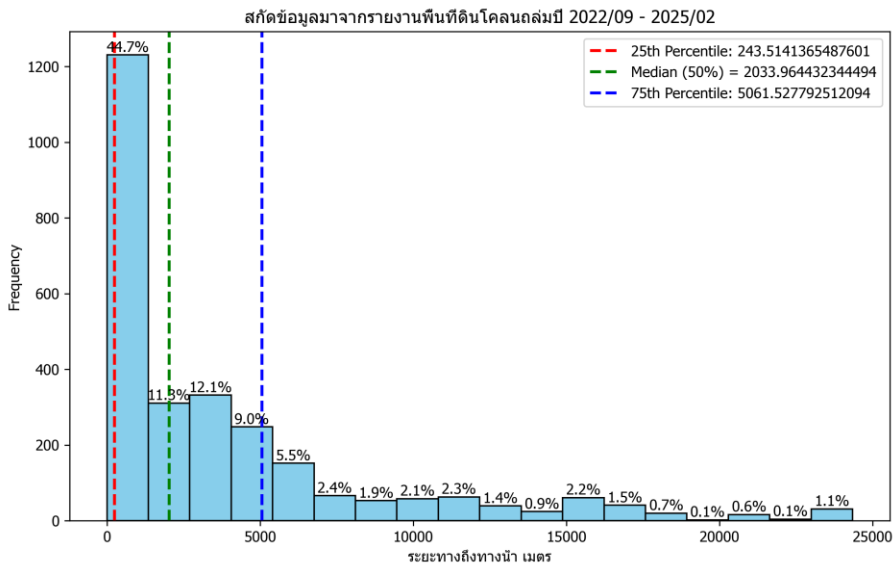


รูปที่ 57 ผลจากการคำนวณค่าปัจจัยเสี่ยงจากความโค้งแนวตั้งเมื่อนำกลับไปสกัดข้อมูล ณ ตำแหน่งที่รายงานเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางได้สถิติค่าปัจจัยเสี่ยงส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 70 - 80

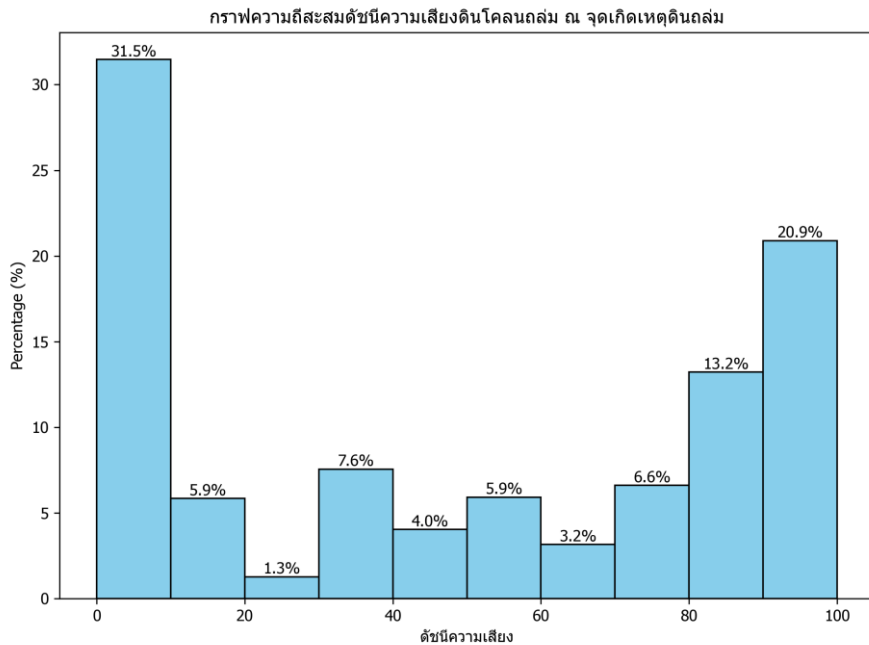


รูปที่ 58 ข้อมูลระยะทางที่เกิดดินถล่มจากแนวเขตทางส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้หรืออยู่ในแนวสายทางอยู่แล้ว

ถ้าพิจารณาจากความสมเหตุสมผลเฉพาะความมุ่งหมายของโครงการ ที่ต้องการตรวจปัจจัยเสี่ยงดินโคลนถล่มตามแนวสายทาง ซึ่งจะไม่ให้ความสนใจกับดินโคลนถล่มที่อยู่นอกแนวสายทาง ดังนั้น การคำนวณตำแหน่งที่เกิดเหตุดินโคลนถล่มที่คำนวณระยะทางจากแนวสายทางจึงไม่มีความสมเหตุสมผลในทางปฏิบัติที่จะนำเข้ามาร่วมในการคำนวณดัชนีเสี่ยง เพราะเน้นเฉพาะแนวสายทางอยู่แล้ว จึงไม่ต้องตรวจระยะห่างจากแนวสายทาง จึงได้พิจารณาตัดปัจจัยเสี่ยงนี้ออกไปจากการคำนวณดัชนีความเสี่ยง แสดงดังรูปที่ 58



รูปที่ 59 สถิติระยะทางจากจุดเกิดดินโคลนถล่มจากรายงานบนแนวสายทางไปถึงเส้นทางน้ำ ข้อมูลส่วนใหญ่บ่งชี้ว่าอยู่ใกล้กับแนวสายทาง (เพราะว่ารายงานมาจากจุดที่เกิดบนแนวสายทาง)



รูปที่ 60 สถิติปัจจัยเสี่ยงระยะทางถึงแหล่งน้ำเมื่อนำจุดรายงานเกิดดินโคลนถล่มบนแนวสายทางกลับมาคำนวณจากค่า Normalization จากสถิติระยะทางจากจุดเกิดดินโคลนถล่มไปยังเส้นทางน้ำที่ใกล้ที่สุด

รูปที่ 59 และรูปที่ 60 การคำนวณปัจจัยเสี่ยงจากดินโคลนถล่มด้วยการคำนวณระยะทางไปยังเส้นทางน้ำ/แหล่งน้ำ ในกรณีของการนำมาประยุกต์ใช้เส้นทางหลวงซึ่งเส้นทางหลวงส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ราบ (เส้นทางไม่อยู่ในแนวสันเขา) และในการเกิดดินถล่มมีปัจจัยอื่น เช่น ปัจจัยความสามารถในการระบายน้ำ เป็นปัจจัยที่จะใช้บ่งชี้ว่าแนวเส้นทางนั้นอยู่ในแนวน้ำไหลหรือไม่



$$Rn = \frac{((\text{mean_elevation}) - (\text{min_elevation}))}{((\text{max_elevation}) - (\text{min_elevation}))}$$

| | | |
|---|---|---|
| A | B | C |
| D | E | F |
| G | H | I |

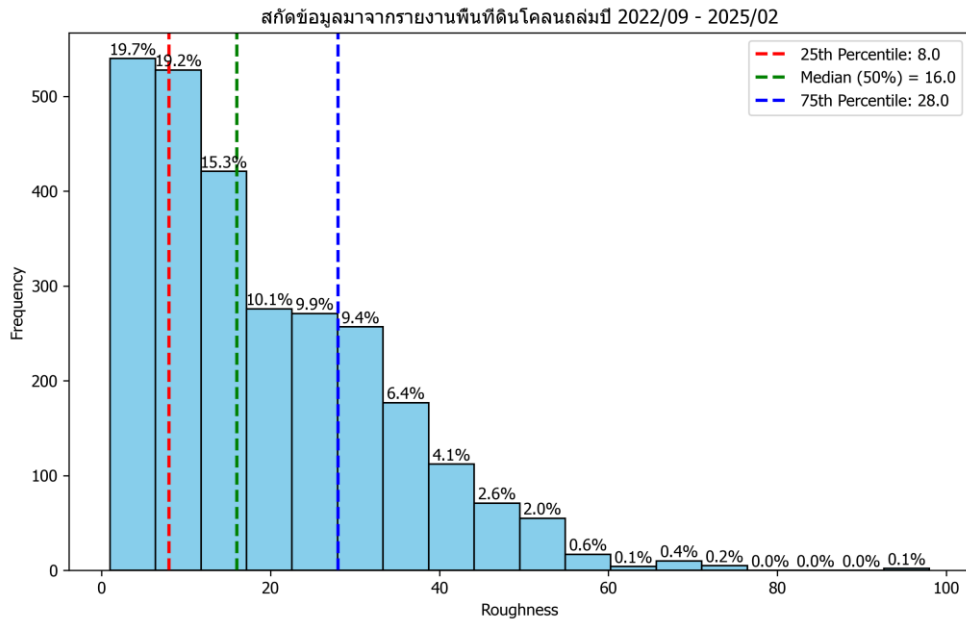
- ค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสูงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ (3x3)
- ค่าสูง = พื้นที่ที่มีความขรุขระหรือชันมาก
- ค่าต่ำ = พื้นที่ที่มีความขรุขระหรือชันน้อย
- ค่าศูนย์ = พื้นที่ไม่มีความขรุขระหรือชัน

รูปที่ 61 การคำนวณความขรุขระจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)

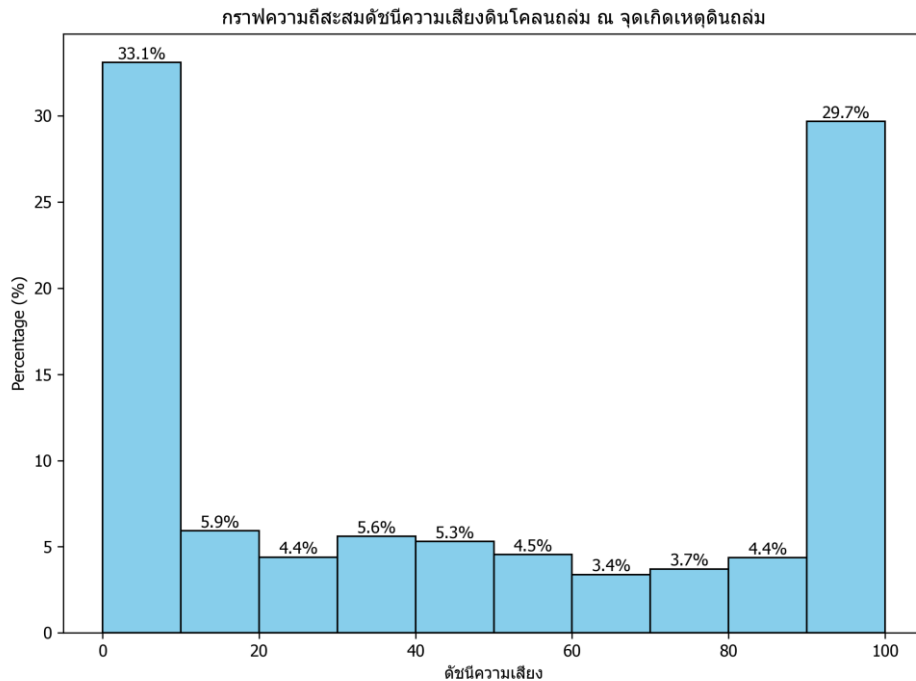
Roughness เป็นการวัดว่าระดับความสูงของพื้นดินเปลี่ยนขึ้น - ลงมากน้อยแค่ไหน ในระยะสั้น ยิ่งค่าสูง ภูมิประเทศยิ่ง “ขรุขระ - ซับซ้อน” หรือร่องเป็นเหลี่ยมสันหุบที่มีความถี่ ความขรุขระสัมพันธ์กับดินถล่มผ่านกลไกหลัก 3 ประการ แสดงดังรูปที่ 61

- พื้นที่หยาบมักประกอบด้วยลาดชันตัดกันและรอยแตกหินหนาแน่น จึงเกิดตัว “รวมแรงเฉือน” ทำให้ชั้นดิน - หินพร้อมแตกตัวหล่นได้ง่าย
- ร่องหลืบเล็ก ๆ บนผิวขรุขระกักน้ำผิวดิน เพิ่มแรงดันน้ำรูพรุน ลดแรงต้านทาน ช่วยกระตุ้นการไหลหรือถล่มของมวลดิน
- เมื่อดินถล่มเกิดขึ้น ผิวนิวจะหยาบกว่าพื้นลาดเก่าชัดเจน จึงใช้ Roughness แยกแผ่นถล่มใหม่ - เก่า และแสดงอายุการเคลื่อนตัวของพื้นที่ได้





รูปที่ 62 สถิติค่าความขรุขระที่นำจากรายงานดินโคลนถล่มมาใช้สกัดค่าออกจากข้อมูลส่วนใหญ่พื้นที่ที่เกิดดินโคลนถล่มจะมีค่าความขรุขระอยู่ในช่วงระหว่าง 8.0 ถึง 28.0 ซึ่งจะนำไปคำนวณ Normalization เป็นข้อมูลปัจจัยเสี่ยงความขรุขระ



รูปที่ 63 ค่าปัจจัยเสี่ยงความขรุขระจากข้อมูลตำแหน่งรายงานที่เกิดดินโคลนถล่ม ข้อมูลมีการกระจายตัวไปทุก ๆ ค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ไม่แสดงถึงความสมเหตุสมผลในการนำไปเป็นปัจจัยในการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่ม



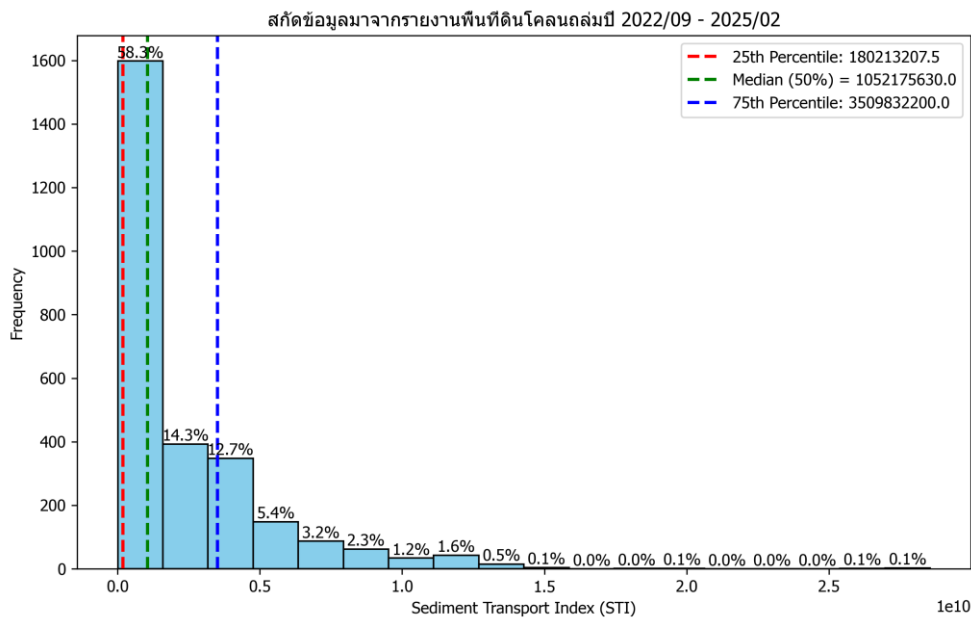
จากการทำการศึกษาสถิติและการคำนวณ Normalization แสดงดังรูปที่ 62 และการนำข้อมูล ปัจจัยเสี่ยงความขรุขระ 0 - 100 กลับไปสู่มาจากตำแหน่งรายงานเกิดดินโคลนถล่มแนวสาย แสดงดังรูปที่ 63 การกระจายตัวระหว่างค่า 0 ถึง 100 แสดงความหมายว่าปัจจัยเสี่ยงความขรุขระนี้ ไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ กับการแสดงความเสี่ยงดินโคลนถล่มจึงตัดออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยง ดินโคลนถล่ม

$$STI = \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^{0.6} \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1.5}$$

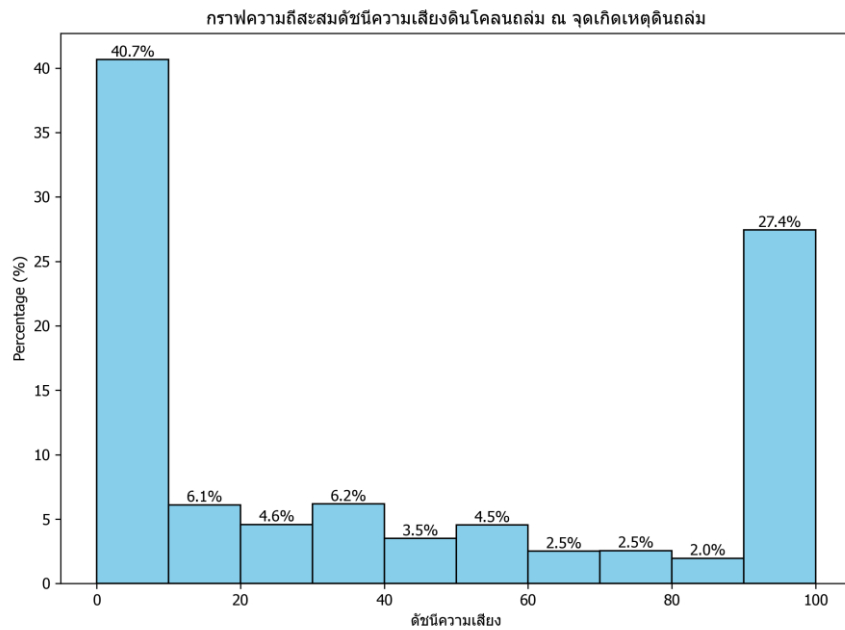
- ค่าที่แสดงถึง พลังงานที่น้ำสามารถใช้ในการกัดเซาะ
- ค่าสูง = พื้นที่ที่มีการไหลในทิศทางที่ชันหรือแรงดันน้ำสูง
- ค่าต่ำ = พื้นที่ที่มีการไหลในทิศทางที่ชันหรือแรงดันน้ำน้อย
- ค่าศูนย์ = พื้นที่ไม่มีการไหลในทิศทางที่ชันหรือแรงดันน้ำ

รูปที่ 64 วิธีการคำนวณค่าการขนส่งตะกอน (STI) คำนวณจากปริมาณน้ำที่ไหลมารวมกันเหนือจุดนั้น (A_s)

และ ความชันของลาด (β) แล้วตีความเป็นทิศทางการไหลของตะกอน

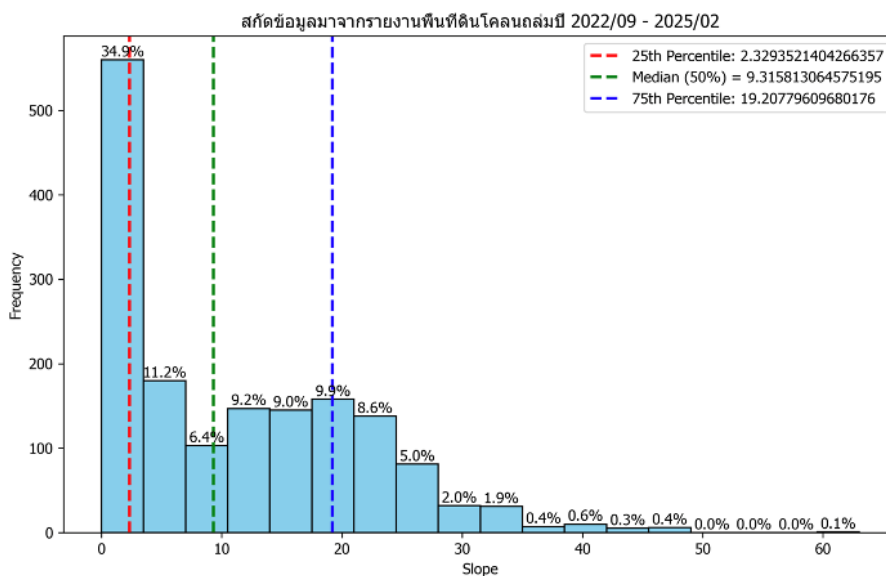


รูปที่ 65 ดัชนีการขนส่งตะกอน ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



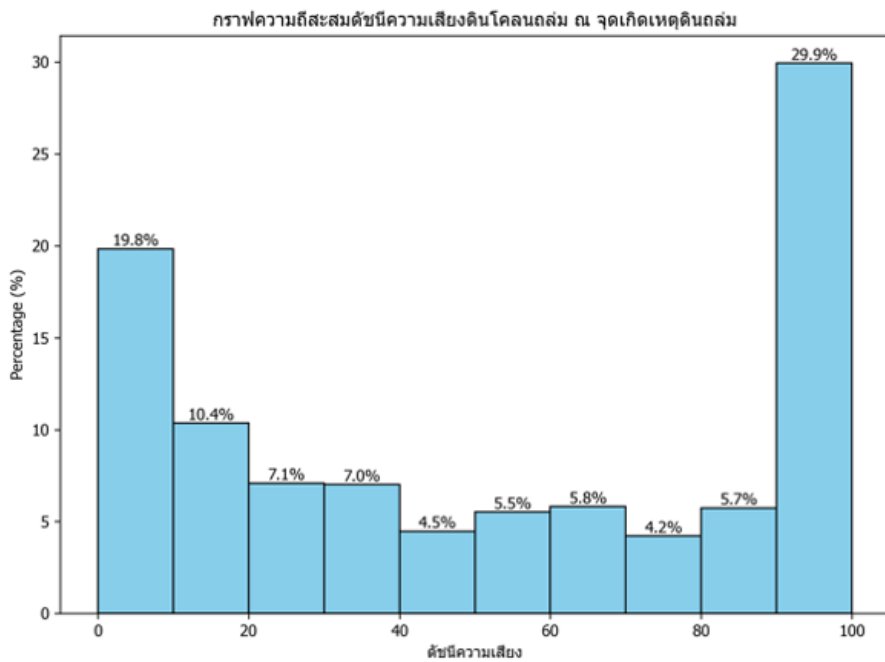
รูปที่ 66 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง การขนส่งตะกอน (RF_{STI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization

รูปที่ 65 และรูปที่ 66 ปัจจัยเสี่ยงการขนส่งตะกอน (RF_{STI}) ไม่แสดงความสัมพันธ์ใด ๆ ในการแยกจุดเสี่ยงเกิดภัยดินโคลนถล่มเพราะจากตำแหน่งรายงานจุดเกิดดินโคลนถล่มตามแนวสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 ค่าปัจจัยเสี่ยงจากข้อมูลการขนส่งตะกอน ก็มีการกระจายตัวไปในช่วงระหว่าง 0 ถึง 100 ซึ่งค่าที่ใกล้เคียง 0 มีถึง 40.7% ดังนั้นจึงตัดปัจจัยเสี่ยงการขนส่งตะกอนนี้ออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่ม



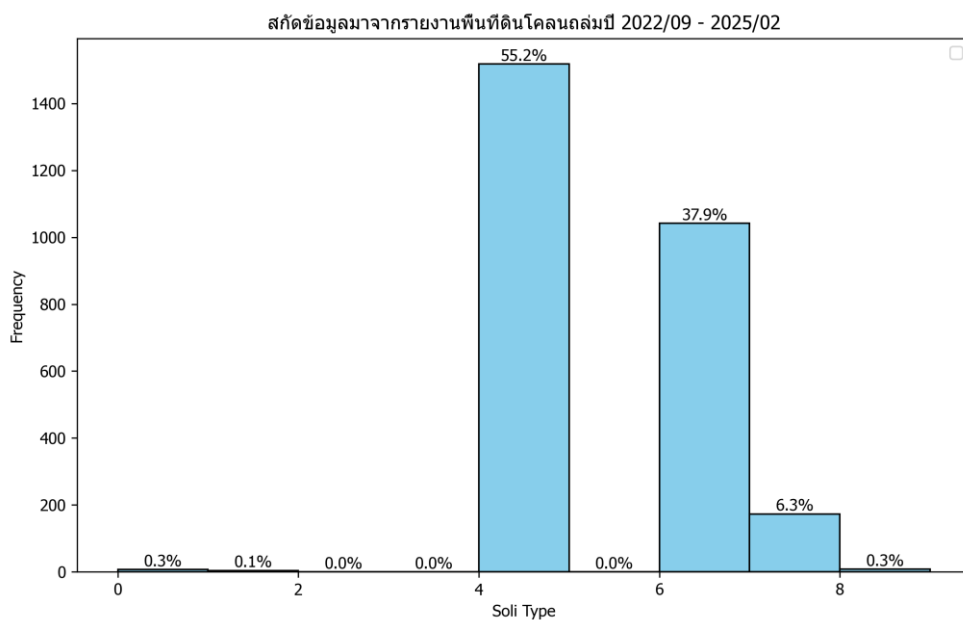
รูปที่ 67 ความชัน ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล





รูปที่ 68 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความชัน (RF_{slope}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่มจากการปรับ Normalization

รูปที่ 67 และรูปที่ 68 แสดงความสัมพันธ์ต่ำในการนำปัจจัยเสี่ยงความชัน มาใช้ในการจำแนกความเสี่ยงจากดินโคลนถล่มแนวสายทาง เนื่องจากเมื่อทำ Normalization จากข้อมูลสถิติแล้ว ปัจจัยเสี่ยงยังมีการกระจายตัวระหว่าง 0 ถึง 100 ไม่ได้มีน้ำหนักไปทาง 100 ดังนั้น จึงพิจารณาตัดข้อมูลปัจจัยเสี่ยงความชันออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง



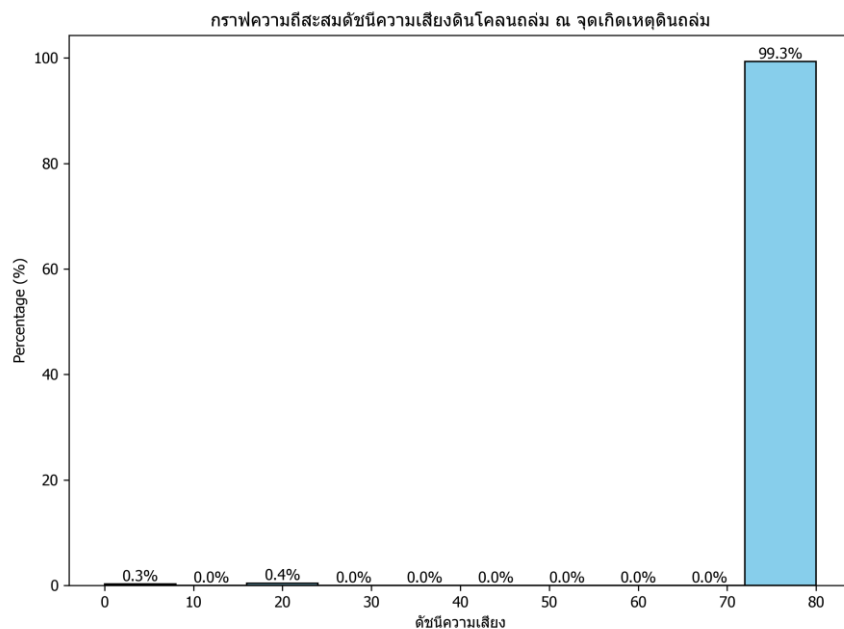
รูปที่ 69 ประเภทดิน ณ ตำแหน่งรายงานที่เกิดดินโคลนถล่มแนวสายทาง ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์)



รูปที่ 69 ประเภทดินเป็นข้อมูล Classification ไม่ได้เป็นข้อมูล Continuous Data ดังนั้นการคำนวณเป็นค่าความเสี่ยงจะใช้วิธีการกำหนดน้ำหนักแทนการคำนวณ Normalization โดยกำหนดให้มีความเสี่ยงตามประเภทดินจากข้อมูลสถิติที่นำตำแหน่งรายงานการเกิดดินโคลนถล่ม แนวสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ไปสกัดออกจากข้อมูลประเภทดิน ดังนี้

- ประเภทดิน 1 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 20
- ประเภทดิน 2 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 20
- ประเภทดิน 3 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 0
- ประเภทดิน 4 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 80
- ประเภทดิน 5 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 0
- ประเภทดิน 6 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 80
- ประเภทดิน 7 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 80
- ประเภทดิน 8 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 0
- ประเภทดิน 9 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 20

เมื่อคำนวณเป็นค่าปัจจัยเสี่ยงตามประเภทดินตามที่กำหนดน้ำหนักไว้ แล้วนำตำแหน่งรายงานการเกิดภัยดินโคลนถล่มกลับมาสกัดข้อมูลอีกครั้งจะได้สถิติแสดงดังรูปที่ 70 ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์กับตำแหน่งที่เกิดดินโคลนถล่มมากเนื่องจากค่าปัจจัยเสี่ยง 70 - 80 มีมากถึง 99.3%



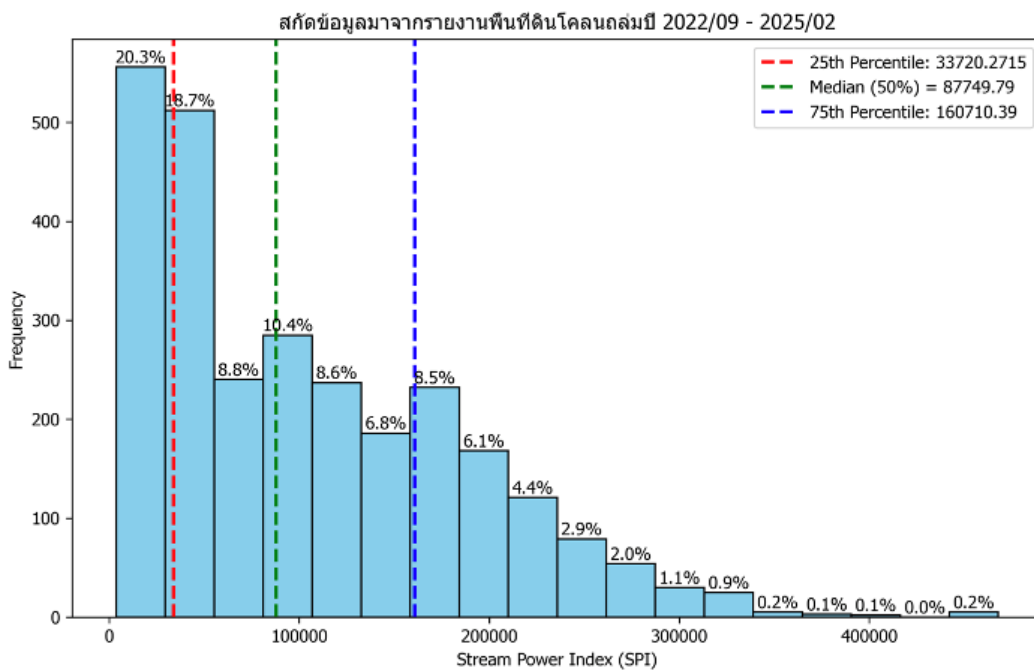
รูปที่ 70 ค่าปัจจัยเสี่ยง 0 - 100 หลังจากการกำหนดค่าความเสี่ยงตามประเภทดินแล้ว นำไปสกัดข้อมูลอีกครั้งจากตำแหน่งรายงานจุดเกิดภัยดินโคลนถล่มแนวสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์)



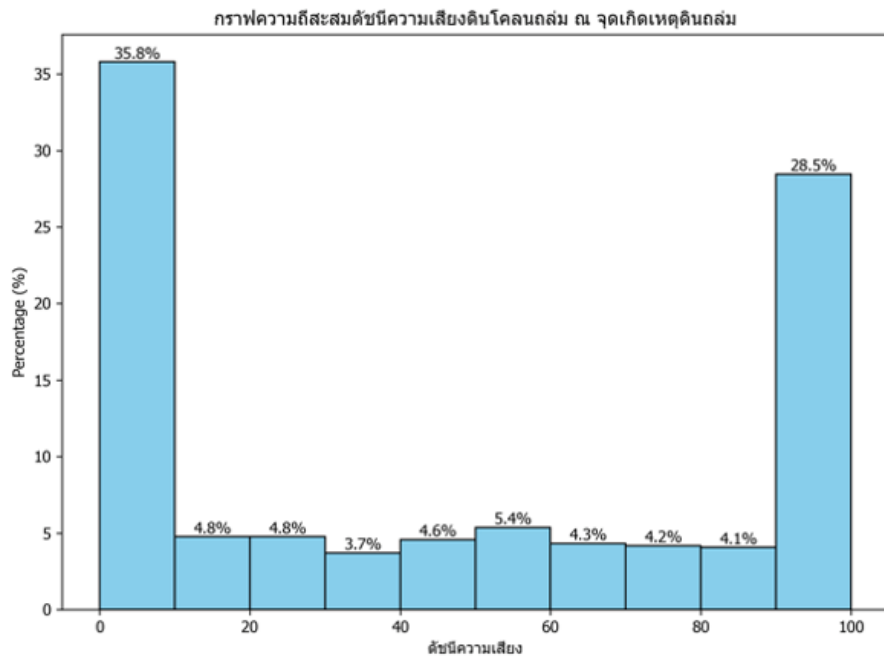
$$SPI = \text{Flow Accumulation} \times \text{Slope}$$

- ค่าที่แสดงถึง พลังงานที่น้ำสามารถใช้ในการกัดเซาะ
- ค่าสูง = พื้นที่ที่มีการไหลในทิศทางที่ชันหรือแรงดันน้ำสูง
- ค่าต่ำ = พื้นที่ที่มีการไหลในทิศทางที่ชันหรือแรงดันน้ำน้อย
- ค่าศูนย์ = พื้นที่ไม่มีกรไหลในทิศทางที่ชันหรือแรงดันน้ำ

รูปที่ 71 วิธีการคำนวณค่าพลังงานการกัดเซาะของน้ำจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)



รูปที่ 72 ค่าปัจจัยเสี่ยงพลังงานการกัดเซาะของน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่ม ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) จำนวนจากควอไทล์ของข้อมูล



รูปที่ 73 ค่าปัจจัยเสี่ยง พลังงานการกัดเซาะของน้ำ (RF_{SP}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม
จากการปรับ Normalization

รูปที่ 72 และรูปที่ 73 ค่าปัจจัยเสี่ยงพลังงานการกัดเซาะของน้ำ ไม่ได้แสดงความสัมพันธ์กับการใช้ในงานจำแนกพื้นที่เสี่ยงเกิดภัยดินโคลนถล่มบนแนวสายทาง เนื่องจากค่าปัจจัยเสี่ยงกระจายตัวระหว่าง 0 - 100 โดยเฉพาะค่าที่ใกล้ 0 มีมากถึง 35.8% (สูงที่สุดจากทุกค่า) จึงพิจารณาตัดปัจจัยเสี่ยงพลังงานการกัดเซาะของน้ำออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยงดินโคลนถล่มแนวสายทาง

$$TRI = \sqrt{\sum_{i=1}^8 (x_i - E)^2}$$

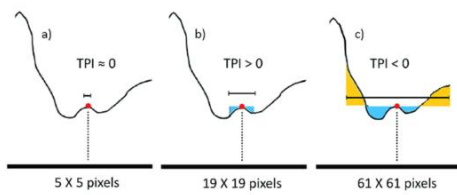
$$TRI = \sqrt{(B - E)^2 + (D - E)^2 + (F - E)^2 + (H - E)^2}$$

| | | |
|---|---|---|
| A | B | C |
| D | E | F |
| G | H | I |

- ค่าที่ใช้ในการวัดความขรุขระของภูมิประเทศ (3x3)
- ค่าสูง = พื้นที่ที่มีความขรุขระหรือชันมาก
- ค่าต่ำ = พื้นที่ที่มีความขรุขระหรือชันน้อย
- ค่าศูนย์ = พื้นที่ไม่มี ความขรุขระหรือชัน

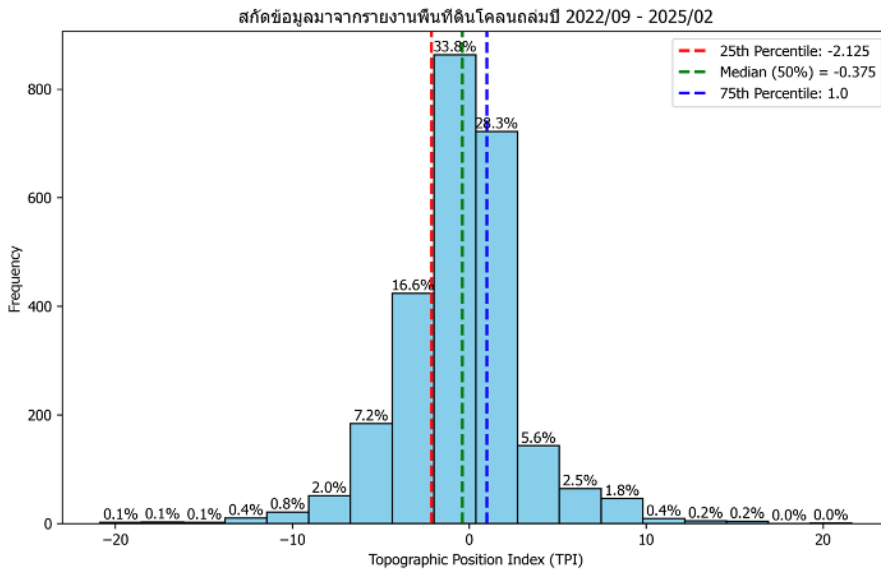
รูปที่ 74 วิธีการคำนวณค่าความขรุขระของภูมิประเทศ (RF_{TRI}) จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)

รูปที่ 74 การคำนวณค่าความขรุขระของภูมิประเทศ (RF_{TRI}) เป็นลักษณะความหมายเดียวกับค่าความขรุขระ (Roughness) รูปที่ 61 ถึง รูปที่ 63 ดังนั้น ด้วยมูลเหตุเดียวกันจึงพิจารณาตัดปัจจัยเสี่ยงความขรุขระของภูมิประเทศออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง

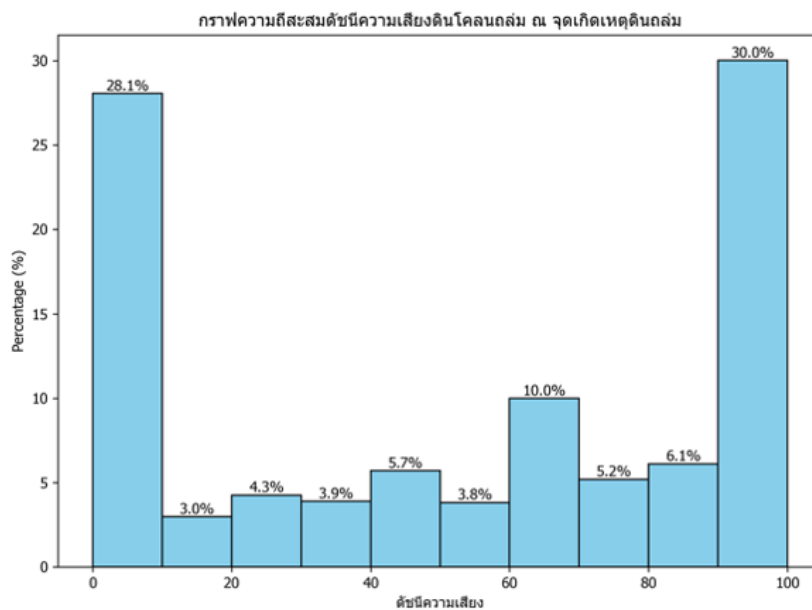


- ค่าประเมินความสูงของจุดข้อมูลแต่ละจุดเทียบกับบริเวณใกล้เคียง (3x3)
- ค่าบวก = สูงกว่าบริเวณโดยรอบ
- ค่าลบ = ต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ
- ค่าศูนย์ = เท่ากับบริเวณโดยรอบ

รูปที่ 75 การคำนวณปัจจัยเสี่ยงจากดัชนีตำแหน่งภูมิประเทศ เทียบจากตำแหน่งโดยรอบ



รูปที่ 76 ค่าปัจจัยเสี่ยงตำแหน่งภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่ม ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) จำนวนจากควอไทล์ของข้อมูล



รูปที่ 77 ค่าปัจจัยเสี่ยง ตำแหน่งภูมิประเทศ (RF_{TPI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization



รูปที่ 76 และรูปที่ 77 จากการนำค่าสถิติจากข้อมูลดัชนีตำแหน่งภูมิประเทศ เมื่อเทียบกับความสูงของพื้นที่รอบข้าง จากการนำข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) ไปใช้ในการคำนวณค่าดัชนีตำแหน่งภูมิประเทศ ผลลัพธ์จากการทำ Normalization จากสถิติ แล้วนำกลับไปสกัดข้อมูลเป็นค่าปัจจัยเสี่ยง 0 - 100 การกระจายตัวของค่าปัจจัยเสี่ยงไม่ได้บ่งชี้ว่าปัจจัยตำแหน่งภูมิประเทศมีความสัมพันธ์กับการนำมาใช้แสดงความเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง จึงได้พิจารณาตัดปัจจัยเสี่ยงตำแหน่งภูมิประเทศออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan b}$$

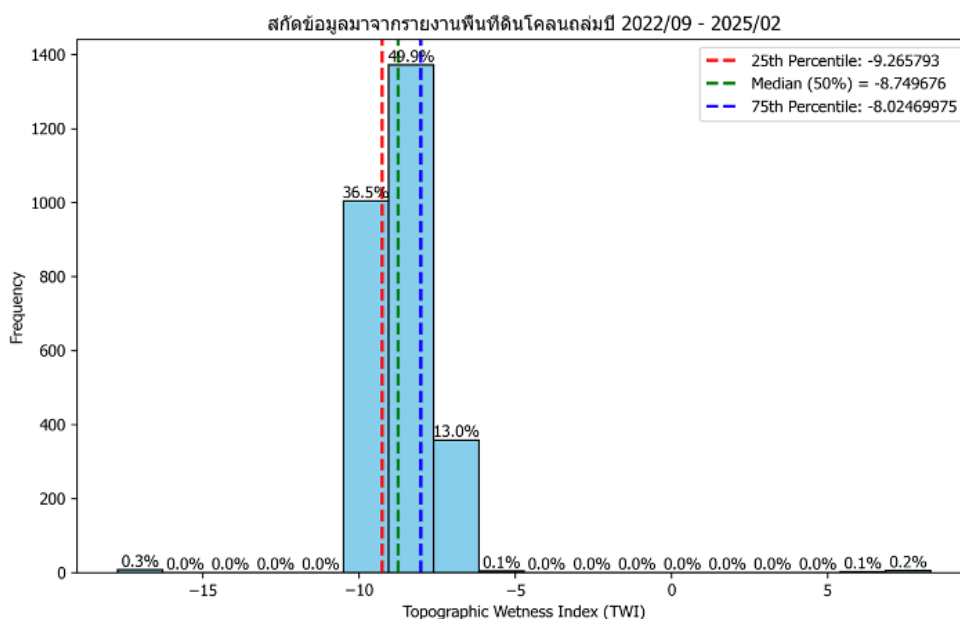
Where:

a = uplope contributing area (m²)

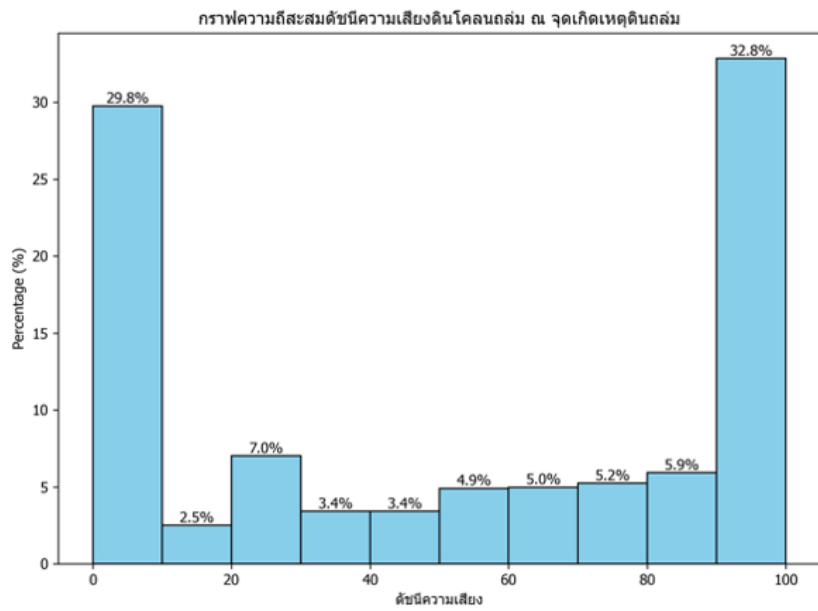
b = slope in radians.

- ค่าความชื้นในภูมิประเทศ
- ค่าสูง = ความชันสูงหรือพื้นที่แอ่ง ความชันสูง
- ค่ากลาง = ความชันกลาง หรือ พื้นที่สูงกลาง ความชันปานกลาง
- ค่าต่ำ = ความชันต่ำหรือพื้นที่ราบ ความชันจะต่ำ

รูปที่ 78 การคำนวณดัชนีความชื้นของภูมิประเทศจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)

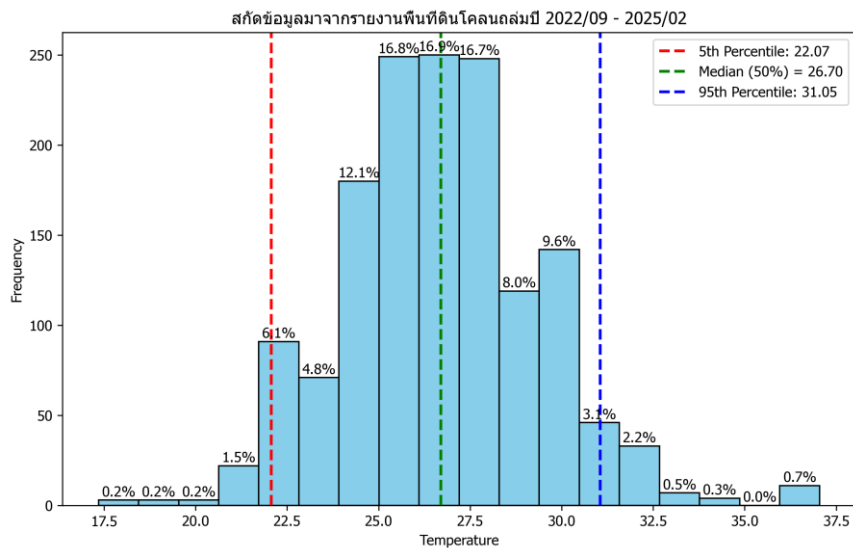


รูปที่ 79 ค่าความชื้นของภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



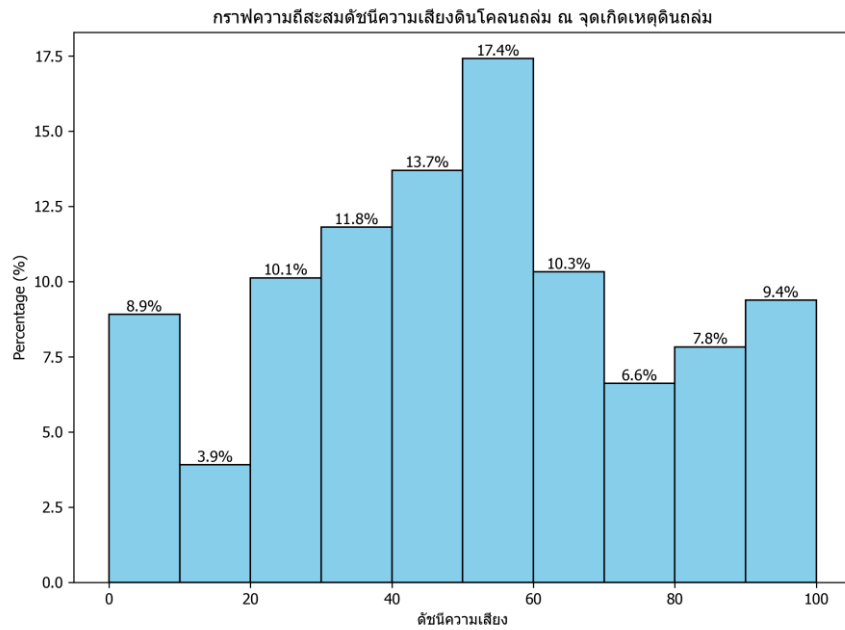
รูปที่ 80 ดัชนีปัจจัยเสี่ยงความชื้นของภูมิประเทศ (RF_{TWI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization

รูปที่ 79 และรูปที่ 80 เนื่องจากมีพื้นฐานจากการคำนวณความชื้นจากการอนุมานว่าในพื้นที่ต่ำ และเป็นแหล่งที่น้ำจะไหลมารวม ณ ตำแหน่งที่ต่ำนั้น เป็นการอนุมานว่าจะมีความชื้นสูง (ไม่ได้คำนวณ มาจากการวัดความชื้นจริง) จึงทำให้เมื่อคำนวณ Normalization จากสถิติ ณ ตำแหน่งที่เกิด ดินโคลนถล่มแล้ว ค่าปัจจัยเสี่ยงจากข้อมูลความชื้นนี้ จึงมีการกระจายระหว่าง 0 - 100 และไม่แสดง ว่ามีความสัมพันธ์หรือมีประสิทธิภาพที่จะนำมาใช้คำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง จึงตัดปัจจัยความชื้นของภูมิประเทศนี้ออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง



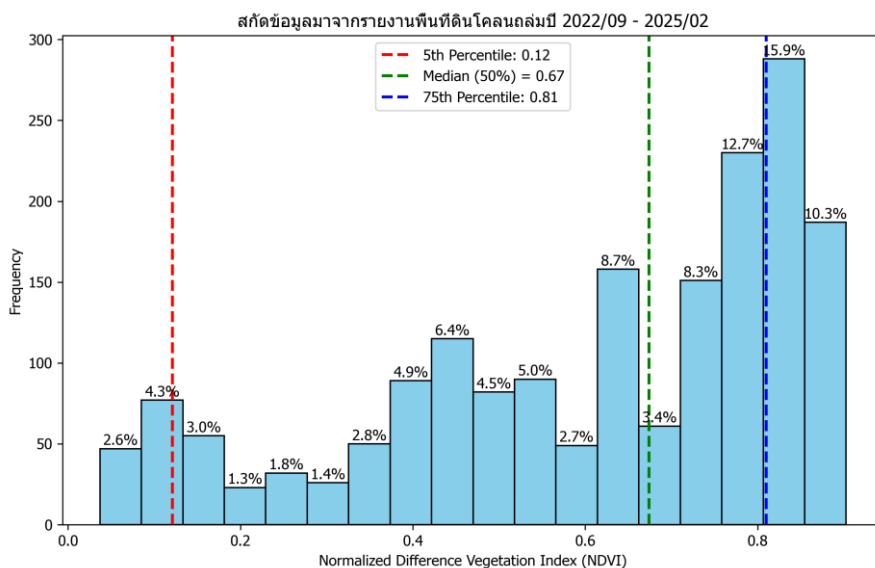
รูปที่ 81 ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล





รูปที่ 82 ค่าปัจจัยเสี่ยง อุณหภูมิ ($RF_{temperature}$) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่มจากการปรับ Normalization

รูปที่ 81 และรูปที่ 82 ค่าดัชนีอุณหภูมิ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณอนุมาณค่าอุณหภูมิ จากตำแหน่งความสูงของภูมิประเทศ (DEM) เมื่อนำสถิติค่าดัชนีอุณหภูมิจากตำแหน่งรายงาน เกิดดินโคลนถล่มแนวสายทาง มาคำนวณ Normalization แล้วกลับไปสกัดค่ามาเป็นปัจจัยเสี่ยง พบว่าค่าปัจจัยเสี่ยงกระจายตัวสม่ำเสมอระหว่าง 0 - 100 บ่งชี้ว่าปัจจัยเสี่ยงจากข้อมูลอุณหภูมินี้ ไม่มีความสัมพันธ์หรือมีประสิทธิภาพในการนำมาคำนวณเป็นดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง จึงตัดออกจากการคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง

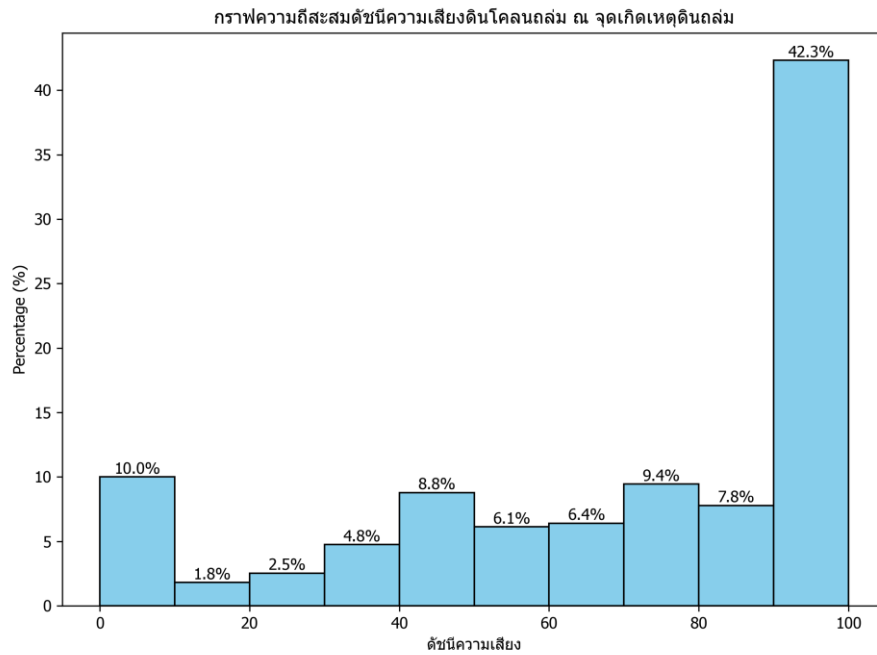


รูปที่ 83 ดัชนีความแตกต่างปกติของพืชพรรณ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน)

ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน)

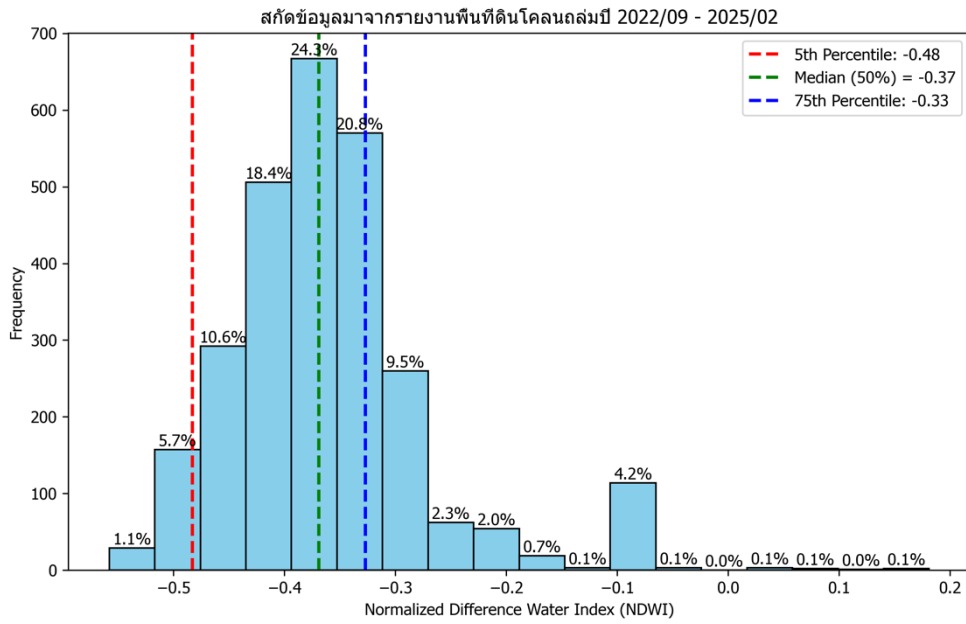
คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



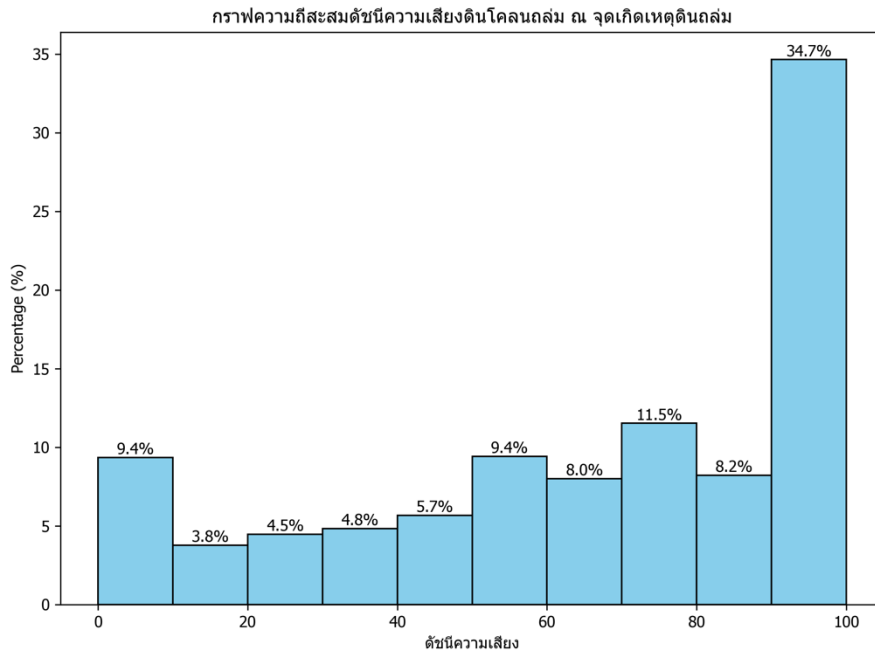


รูปที่ 84 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความแตกต่างปกติของพืชพรรณ (RF_{NDVI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization

รูปที่ 83 และรูปที่ 84 ดัชนีความแตกต่างปกติพืชพรรณ (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) สร้างมาจากการเฉลี่ยข้อมูล NDVI ของทั้งปีจากข้อมูลตรวจวัดด้วยดาวเทียม กรณีสที่มีค่าใกล้เคียง 0.0 หมายถึง ไม่มีพืชพรรณปกคลุมจากค่าเฉลี่ยทั้งปี ส่วนค่าที่ใกล้กับ 1.0 หมายถึง มีพืชพรรณปกคลุมอยู่ทั้งปี เมื่อนำข้อมูลสถิติจากตำแหน่งรายงานเกิดดินโคลนถล่ม มาคำนวณ Normalization เป็นค่าปัจจัยเสี่ยง 0 - 100 แล้วกลับไปสกัดตำแหน่งรายงานอีกครั้ง จะพบว่าการกระจายตัวของตำแหน่งที่เกิดดินโคลนถล่มมีแนวโน้มไปทางค่า 100 สูงถึง 42.3% แสดงว่าปัจจัย NDVI มีความสัมพันธ์และมีประสิทธิภาพดีในการนำไปคำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่ม แนวสายทางต่อไป



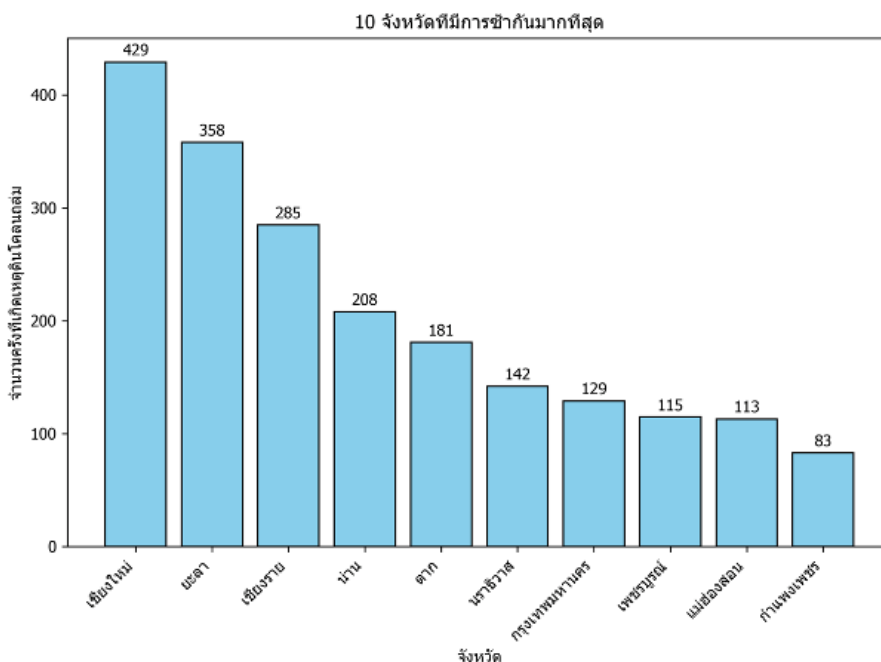
รูปที่ 85 ดัชนีความแตกต่างปกติของน้ำ ณ ตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) ค่าต่ำสุด (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ย (เส้นสีเขียว) ค่าสูงสุด (เส้นสีน้ำเงิน) คำนวณจากควอไทล์ของข้อมูล



รูปที่ 86 ดัชนีปัจจัยเสี่ยง ความแตกต่างปกติของน้ำ (RF_{NDWI}) ของข้อมูลที่เกิดน้ำดินโคลนถล่ม จากการปรับ Normalization



รูปที่ 85 และรูปที่ 86 แสดงค่าดัชนีความแตกต่างปกติของน้ำ (NDWI: Normalized Difference Water Index) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลตรวจวัดจากดาวเทียม ในลักษณะค่าเฉลี่ยทั้งปี แสดงถึงความชื้นของสิ่งปกคลุมพื้นผิวโลก คล้ายกับค่า NDVI เมื่อเก็บค่า NDWI จากตำแหน่งรายงานที่เกิดภัยดินโคลนถล่มแล้วคำนวณ Normalization จากค่าสถิติแล้วนำค่าปัจจัยเสี่ยงกลับไปสกัดค่าจากตำแหน่งรายงานมาอีกครั้ง พบว่าค่าปัจจัยเสี่ยงมีแนวโน้มไปทางค่าเสี่ยง 100 แสดงความสัมพันธ์กับการเป็นเกณฑ์ในการประเมินความเสี่ยงของดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มแนวสายทาง

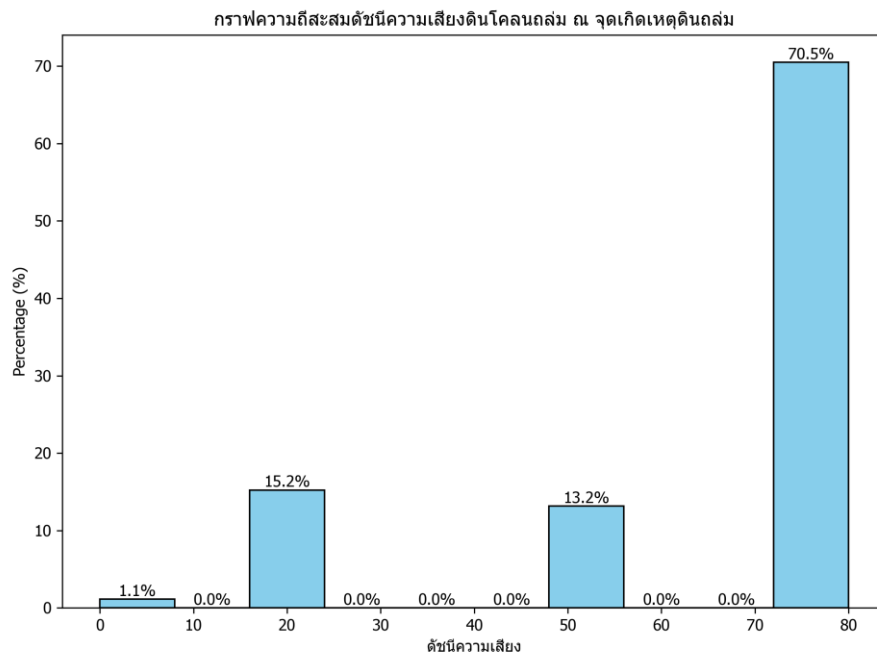


รูปที่ 87 ข้อมูลสถิติการเกิดภัยดินโคลนถล่ม ระหว่างปี ค.ศ. 2022 (กันยายน) ถึง ปี ค.ศ. 2025 (กุมภาพันธ์) แยกตามพื้นที่จังหวัด

รูปที่ 87 สกัดจากตำแหน่งรายงานเกิดดินโคลนถล่มแนวสายทางแบ่งจากอยู่ในพื้นที่จังหวัดใดมากที่สุดตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่จังหวัดเป็นข้อมูลตำแหน่งขอบเขตนามธรรม ไม่สามารถนำมาคิดเป็นตัวเลขได้ จึงได้กำหนดเกณฑ์ที่จะใช้ในการถ่วงน้ำหนักหลักเป็นค่าปัจจัยเสี่ยงดังแนวทางต่อไปนี้

- จังหวัดที่มีจำนวน Landslide > 100 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 80
- จังหวัดที่มีจำนวน 50 > Landslide > 100 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 50
- จังหวัดที่มีจำนวน Landslide < 20 มีค่าปัจจัยเสี่ยงเท่ากับ 20

แล้วนำเกณฑ์ข้างต้นนี้ไปคำนวณเป็นค่าถ่วงน้ำหนักรายจังหวัดเป็นปัจจัยเสี่ยงเชิงพื้นที่ (ตามขอบเขตจังหวัด) แล้วนำกลับไปสกัดค่าความเสี่ยงจากตำแหน่งรายงานเกิดภัยดินโคลนถล่มอีกครั้งหนึ่ง ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 88



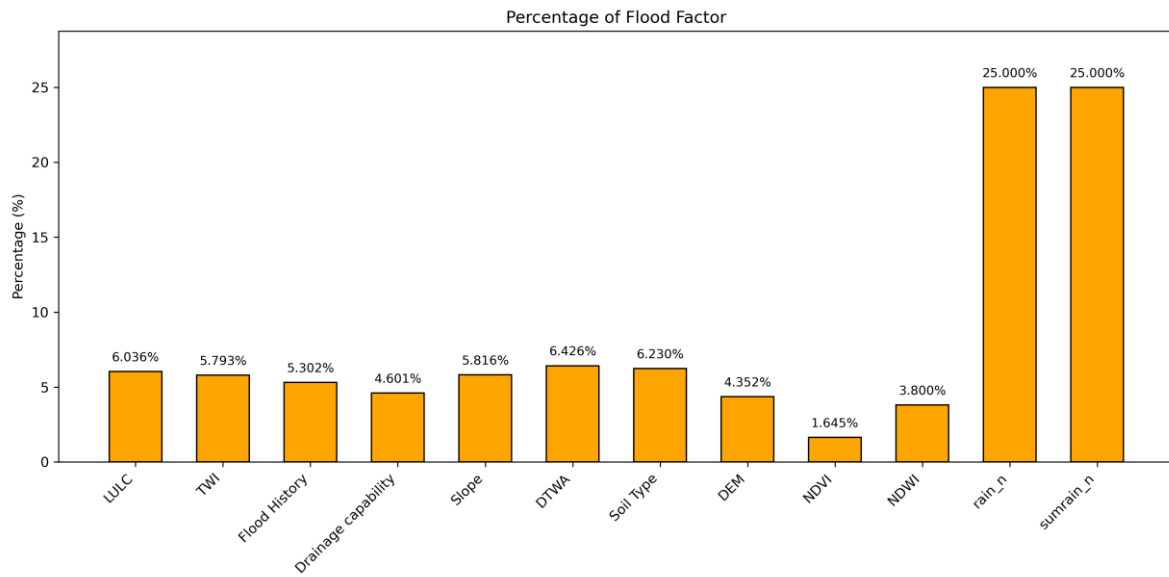
รูปที่ 88 ค่าปัจจัยเสี่ยงจากสถิติการเกิดภัยดินโคลนถล่มคำนวณจากพื้นที่จังหวัดตามค่าน้ำหนักความเสี่ยงที่กำหนดไว้

5.4 การวิเคราะห์ดัชนีเสี่ยง (Risk Index)

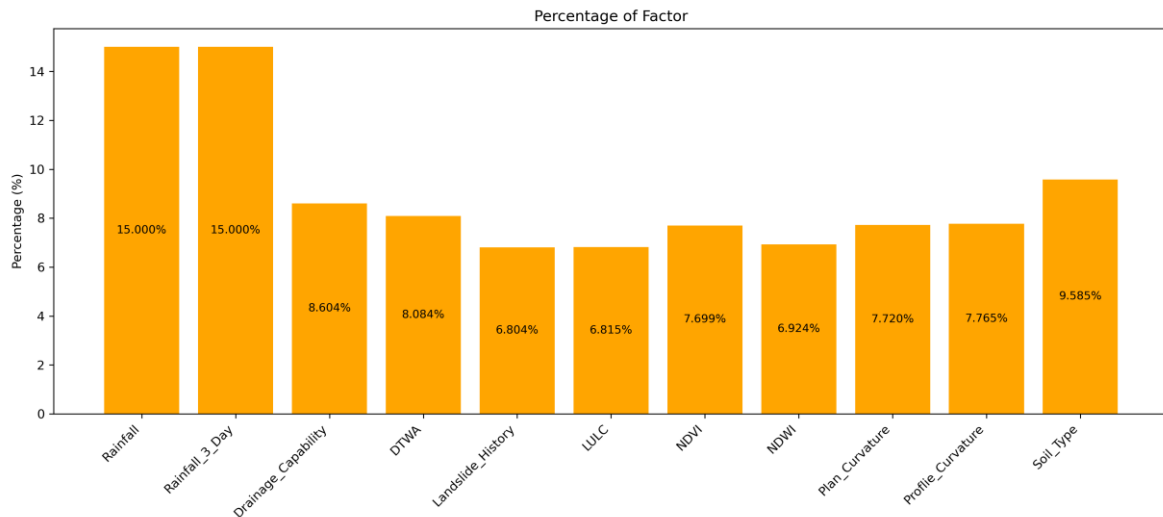
การคำนวณดัชนีเสี่ยงจากปัจจัยเสี่ยงคำนวณได้จากสมการที่ (1) และสมการที่ (2) สำหรับการนำผลการศึกษาปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละปัจจัย มีแนวทางในการคำนวณดังนี้

- ปัจจัยเสี่ยงมี 2 ชนิด คือ ปัจจัยที่มาจากข้อมูลที่มีการอัปเดตรายวัน เช่น ข้อมูลฝน คาดการณ์ ถือว่าเป็นปัจจัยที่ควรมีน้ำหนักมากกว่า ปัจจัยเสี่ยงจากข้อมูลกายภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย เช่น ความสูงภูมิประเทศ ความชัน ความสามารถในการระบาย ถือว่าเป็นข้อมูลที่ควรมีน้ำหนักน้อยกว่าปัจจัยฝน
- การแบ่งน้ำหนักแต่ละปัจจัยต้องคำนวณจากการสังเกตข้อมูลสถิติ

การคำนวณสถิติแยกตาม RF (Risk Factor) เพื่อนับจำนวนสำหรับทำเป็น Probability จากข้อมูลรายงานน้ำท่วมและดินโคลนถล่ม จะใช้วิธีการนำค่าพิกัด Latitude และ Longitude ของรายงานเกิดภัยของ ทล. มาสกัดข้อมูล RF ออกจากแต่ละปัจจัย แล้วใช้เกณฑ์เฉพาะค่า RF > 50 (จาก 0 - 100 ตามระดับความเสี่ยง) ให้นับเป็น 1 ถ้าใน RF นั้นมีค่ามากกว่า 50 เป็นทำเป็น Histogram เพื่อคำนวณเป็น Probability ดังรูป



รูปที่ 89 สถิติค่าพิกัด Latitude และ Longitude ของตำแหน่งเกิดน้ำท่วมสายทางที่มีค่า RF แยกตามปัจจัย เกินกว่า 50 (RF > 50) นับเป็นจำนวนจุดสะสม



รูปที่ 90 สถิติค่าพิกัด Latitude และ Longitude ของตำแหน่งเกิดดินโคลนถล่มสายทางที่มีค่า RF แยกตามปัจจัย เกินกว่า 50 (RF > 50) นับเป็นจำนวนจุดสะสม

นำค่าสถิติจาก รูปที่ 89 มาแบ่งเป็นค่าถ่วงน้ำหนักแยกตามประเภทปัจจัย (RF) ดังอธิบาย ในรูปที่ 8 จากสมการที่ (1) ก็จะได้สมการ Road Flood Risk Index (RFRI) ดังสมการที่ (3) สำหรับนำไปใช้คำนวณดัชนีเสี่ยงภัยน้ำท่วมสายทาง

$$\begin{aligned}
 RFRI = & (0.25 \cdot RF_{daily\ rain}) + (0.25 \cdot RF_{3\ days\ rain}) + (0.058 \cdot RF_{slope}) + \\
 & (0.044 \cdot RF_{DEM}) + (0.058 \cdot RF_{TWI}) + (0.017 \cdot RF_{NDVI}) + (0.038 \cdot RF_{NDWI}) + \\
 & (0.062 \cdot RF_{soil_type}) + (0.046 \cdot RF_{drainage_capability}) + (0.064 \cdot RF_{DTWA}) + \\
 & (0.053 \cdot RF_{flood_history}) + (0.060 \cdot RF_{LULC})
 \end{aligned}
 \tag{3}$$





นำค่าสถิติจากรูปที่ 9 มาแบ่งเป็นค่าถ่วงน้ำหนักแยกตามประเภทปัจจัย (RF) ดังอธิบายในรูปที่ 9 ในสมการที่ (2) ก็จะได้สมการ Road Landslide Risk Factor (RLRI) ดังสมการที่ (4) สำหรับนำไปใช้คำนวณดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มสายทาง สำหรับกรณี RLRI พิจารณาจากการทดลองดูจากรูปแผนที่ที่กำหนดให้ปัจจัยเกี่ยวกับฝนใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก 0.15 แทน 0.25 เหมือนกับเรื่องน้ำท่วมเนื่องจากฝนในกรณีดินถล่มปัจจัยอื่น ๆ มีน้ำหนักมากกว่าเรื่องน้ำท่วมสายทาง

$$RLRI = (0.15 \cdot RF_{dailrain}) + (0.15 \cdot RF_{3daysrain}) + (0.086 \cdot RF_{drainagecapability}) + (0.068 \cdot RF_{LULC}) + (0.077 \cdot RF_{plancurvature}) + (0.078 \cdot RF_{profilecurvature}) + (0.081 \cdot RF_{DTWA}) + (0.096 \cdot RF_{soil_type}) + (0.077 \cdot RF_{NDVI}) + (0.069 \cdot RF_{NDWI}) + (0.068 \cdot RF_{landslide_history}) \quad (4)$$

สรุปสูตรการคำนวณปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) แยกตามประเภทดัชนีเสี่ยงภัยน้ำท่วมสายทางแสดงดังตารางที่ 1 และรายละเอียดข้อมูลที่ใช้คำนวณแสดงดังตารางที่ 2

สรุปสูตรการคำนวณปัจจัยเสี่ยง (Risk Factor) แยกตามประเภทดัชนีเสี่ยงภัยดินโคลนถล่มสายทางแสดงดังตารางที่ 3 และรายละเอียดข้อมูลที่ใช้คำนวณแสดงดังตารางที่ 4



ตารางที่ 1 ข้อมูลการคำนวณ Risk Factor (RF) แบ่งตามข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ และหน่วยวัดข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงน้ำท่วมสายทาง

| ปัจจัยเสี่ยง (RF) | ชื่อ | หน่วยวัด | Minimum | Maximum | Equation |
|--------------------------|----------------------------------|---|---------|---------|--|
| RF _{Daily_Rain} | ปริมาณฝนรายวัน | มม./7 วัน | 5.2 | 91.5 | $RF_{\text{Daily_Rain}} = \frac{\text{Daily_Rain} - 5.2}{91.5 - 5.2} \times 100$ |
| RF _{3Days_Rain} | ฝนสะสม 3 วัน | มม./21 วัน | 25.88 | 422.29 | $RF_{\text{3Days_Rain}} = \frac{\text{3Days_Rain} - 25.88}{422.29 - 25.88} \times 100$ |
| RF _{Slope} | ความชัน | องศา | 0.7 | 3.6 | $RF_{\text{Slope}} = 100 - \left(\frac{\text{Slope} - 0.7}{3.6 - 0.7} \times 100 \right)$ |
| RF _{Elevation} | ระดับความสูง | เมตร | 9 | 144 | $RF_{\text{Elevation}} = 100 - \left(\frac{\text{Elevation} - 9}{144 - 9} \times 100 \right)$ |
| RF _{TWI} | ดัชนีความชื้น ภูมิประเทศ | TWI ค่าสูง = พื้นที่ชื้น ระบายน้ำไม่ดี ค่าต่ำ = พื้นที่แห้ง ระบายน้ำดี | -8.37 | -6.31 | $RF_{\text{TWI}} = \frac{\text{TWI} - (-8.37)}{(-6.31) - (-8.37)} \times 100$ |
| RF _{NDVI} | ดัชนีความแตกต่าง ของพืชพันธุ์ | NDVI ค่าบวก = มีพืชในพื้นที่มาก ค่าศูนย์ = พื้นที่ไม่มีพืชหรือมีพืชน้อย ค่าลบ = ไม่มีพืชในพื้นที่ | 0.42 | 0.61 | $RF_{\text{NDVI}} = \frac{\text{NDVI} - 0.42}{0.61 - 0.42} \times 100$ |
| RF _{NDWI} | ดัชนีความแตกต่าง ของน้ำ | NDWI ค่าบวก = มีน้ำในพื้นที่มาก ค่าศูนย์ = เป็นพื้นที่ที่มีพืช หรือเป็นดินที่มีความชื้น ค่าลบ = ไม่มีน้ำในพื้นที่ | -0.4 | -0.25 | $RF_{\text{NDWI}} = \frac{\text{NDWI} - (-0.4)}{(-0.25) - (-0.4)} \times 100$ |



ตารางที่ 1 ข้อมูลการคำนวณ Risk Factor (RF) แบ่งตามข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ และหน่วยวัดข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงน้ำท่วมสายทาง (ต่อ)

| ปัจจัยเสี่ยง (RF) | ชื่อ | หน่วยวัด | Minimum | Maximum | Equation |
|---------------------------|---------------------------------|--|---------|---------|---|
| RF_{Soil_type} | ชนิดดิน | รหัสประเภท | - | - | $RF_{Soil_type} = \begin{cases} 80, Soil_type \in \{2, 5, 7, 8\} \\ 20, Soil_type \in \{1, 3, 9\} \\ 0, Soil_type \in Other \end{cases}$ |
| $RF_{Drainage_Capacity}$ | การระบายน้ำ | Drainage Capacity 8 = ความสามารถในการระบายน้ำสูง 0 = พื้นที่รับน้ำความสามารถในการระบายน้ำต่ำ | 6.16 | 7.47 | $RF_{Drainage_Capacity} = 100 - \left(\frac{Drainage_Capacity - 6.16}{7.47 - 6.16} \times 100 \right)$ |
| RF_{DTWA} | ระยะทางถึงทางน้ำ | NA | 0 | 0.2 | $RF_{DTWA} = \begin{cases} 100 & , DTWA = 0 \\ 100 \times \left(1 - \frac{DTWA - 243.51}{15741.69 - 243.51} \right) & , 0 < DTWA \leq 0.2 \\ 0 & , DTWA > 0.2 \end{cases}$ |
| $RF_{Flood_History}$ | ประวัติการเกิดน้ำท่วม | NA | - | - | $RF_{Flood_History} = \begin{cases} 80, Flood_History > 250 \\ 20, Flood_History < 250 \end{cases}$ |
| RF_{LULC} | การใช้ที่ดินและการปกคลุมพื้นที่ | รหัสประเภทที่ดิน | - | - | $RF_{LULC} = \begin{cases} 80, LULC \in \{6\} \\ 50, LULC = \{1, 3, 4, 7\} \\ 20, LULC = Other \end{cases}$ |



ตารางที่ 2 ข้อมูลแหล่งที่มาของแต่ละ Risk Factor (RF) และรายละเอียดของข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงน้ำท่วมสายทาง

| ชื่อ (RF) | แหล่งที่มาข้อมูล | Version/Update | ความละเอียด | หน่วยวัด |
|---------------------------------|---|----------------------|--------------|---|
| RF _{Daily_Rain} | ข้อมูลฝนจาก สสน. | รายวัน | 5 x 5 กม. | มม. /7 วัน |
| RF _{3Days_Rain} | คำนวณจาก RF _{daily_rain} | รายวัน | 5 x 5 กม. | มม. /21 วัน |
| RF _{Slope} | คำนวณจาก DEM | อัปเดต 7/12/23 | 30 x 30 ม. | องศา |
| RF _{Elevation} | SRTM | อัปเดต 7/12/23 | 30 x 30 ม. | เมตร |
| RF _{TWI} | คำนวณจาก DEM | อัปเดต 7/12/23 | 30 x 30 ม. | TWI ค่าสูง = พื้นที่ชื้น ระบายน้ำไม่ดี ค่าต่ำ = พื้นที่แห้ง ระบายน้ำดี |
| RF _{NDVI} | ข้อมูลจาก MODIS โหลดจาก Google Earth Engine | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | 1 x 1 กม. | NDVI ค่าบวก = มีพืชในพื้นที่มาก ค่าศูนย์ = พื้นที่ไม่มีพืช หรือมีพืชน้อย ค่าลบ = ไม่มีพืชในพื้นที่ |
| RF _{NDWI} | ข้อมูลจาก Sentinel-2 โหลดจาก Google Earth Engine | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | 1 x 1 กม. | NDWI ค่าบวก = มีน้ำในพื้นที่มาก ค่าศูนย์ = เป็นพื้นที่ที่มีพืช หรือเป็นดินที่มีความชื้น ค่าลบ = ไม่มีน้ำในพื้นที่ |
| RF _{Soil_type} | ข้อมูล Soil Texture (USDA) โหลดจาก Google Earth Engine | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | 250 x 250 ม. | รหัสประเภท |
| RF _{Drainage_Capacity} | คำนวณจาก DEM | อัปเดต 7/12/23 | 30 x 30 ม. | Drainage Capacity 8 = ความสามารถ ในการระบายน้ำสูง 0 = พื้นที่รับน้ำความสามารถ ในการระบายน้ำต่ำ |
| RF _{DTWA} | คำนวณจาก DEM + เส้นทางน้ำ | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | 30 x 30 ม. | NA |
| RF _{Flood_History} | LineOA | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | จุด (Vector) | NA |
| RF _{LULC} | NA | อัปเดต 2022 | 30 x 30 ม. | รหัสประเภทที่ดิน |





ตารางที่ 3 ข้อมูลการคำนวณ Risk Factor (RF) แบ่งตามข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ และหน่วยวัดข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงดินโคลนถล่มสายทาง

| ดัชนี (RF) | ชื่อ | หน่วยวัด | Minimum | Maximum | Equation |
|---------------------------------|---------------------------------|---|-------------------|--------------------|--|
| RF _{Daily_Rain} | ฝนรายวัน | มม. /7 วัน | 10.71 มม. /7 วัน | 107.60 มม. /7 วัน | $RF_{Daily_Rain} = \frac{Daily_Rain - 10.71}{107.60 - 10.71} \times 100$ |
| RF _{3Days_Rain} | ฝนรายวันสะสม 3 วัน | มม. /21 วัน | 34.82 มม. /21 วัน | 321.36 มม. /21 วัน | $RF_{3Days_Rain} = \frac{3Days_Rain - 17.98}{200.26 - 17.98} \times 100$ |
| RF _{Drainage_Capacity} | ความสามารถในการระบายน้ำ | Drainage Capacity 8 = ความสามารถในการระบายน้ำสูง 0 = พื้นที่รับน้ำความสามารถในการระบายน้ำต่ำ | 6 | 9 | $RF_{Drainage_Capacity} = 100 - \left(\frac{Drainage_Capacity - 6.0}{9.0 - 6.0} \times 100 \right)$ |
| RF _{LULC} | การใช้ที่ดินและการปกคลุมพื้นที่ | รหัสประเภทการใช้ที่ดิน | - | - | $RF_{LULC} = \begin{cases} 80, LULC \in \{1, 2, 3, 4, 5, 7\} \\ 50, LULC = 6 \end{cases}$ |
| RF _{Plan_Curvature} | ความโค้งแนวราบ | Plan Curvature -1 = โค้งเข้าหาเส้นทาง 0 = เส้นตรง 1 = โค้งออกจากเส้นทาง | - | - | $RF_{Plan_Curvature} = \begin{cases} 20, Plan_Curvature < -0.02 \\ 80, -0.02 < Plan_Curvature < 0.02 \\ 20, Plan_Curvature > 0.02 \end{cases}$ |
| RF _{Profile_Curvature} | ความโค้งแนวตั้ง | Profile Curvature -1 = โค้งขึ้นข้างบน 0 = เส้นตรง 1 = โค้งลงข้างล่าง | - | - | $RF_{Profile_Curvature} = \begin{cases} 20, Profile_Curvature < -0.004 \\ 80, -0.004 < Profile_Curvature < 0.004 \\ 20, Profile_Curvature > 0.004 \end{cases}$ |
| RF _{DTWA} | ระยะทางถึงทางน้ำ | NA | 243.51 | 15741.69 | $RF_{DTWA} = \begin{cases} 100, 0.0 \leq DTWA \leq 243.51 \\ 100 \times \left(1 - \frac{DTWA - 243.51}{15741.69 - 243.51} \right), 243.51 < DTWA \leq 15741.69 \\ 0, DTWA > 15741.69 \end{cases}$ |
| RF _{Soil_type} | ประเภทดิน | รหัสประเภทดิน | - | - | $RF_{Soil_type} = \begin{cases} 80, Soil_type \in \{4, 6, 7\} \\ 20, Soil_type \in \{1, 2, 9\} \\ 0, Soil_type \in \{3, 5, 8\} \end{cases}$ |
| RF _{NDVI} | ดัชนีความแตกต่างของพืชพันธุ์ | NDVI ค่าบวก = มีพืชในพื้นที่มาก ค่าศูนย์ = พื้นที่ไม่มีพืชหรือมีพืชน้อย ค่าลบ = ไม่มีพืชในพื้นที่ | 0.43 | 0.71 | $RF_{NDVI} = \frac{NDVI - 0.43}{0.71 - 0.43} \times 100$ |
| RF _{NDWI} | ดัชนีความแตกต่างของน้ำ | NDWI ค่าบวก = มีน้ำในพื้นที่มาก ค่าศูนย์ = เป็นพื้นที่ที่มีพืชหรือเป็นดินที่มีความชื้น ค่าลบ = ไม่มีน้ำในพื้นที่ | - 0.48 | - 0.33 | $RF_{NDWI} = \frac{NDWI - (-0.48)}{(-0.33) - (-0.48)} \times 100$ |
| RF _{Landslide_History} | ประวัติการเกิดดินโคลนถล่ม | NA | - | - | $RF_{Landslide_History} = \begin{cases} 80, Landslide_History < 100 \\ 50, 50 < Landslide_History < 100 \\ 20, Landslide_History > 100 \end{cases}$ |



ตารางที่ 4 ข้อมูลแหล่งที่มาของแต่ละ Risk Factor (RF) และรายละเอียดของข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงดินโคลนถล่มสายทาง

| ดัชนี (RF) | แหล่งที่มาของข้อมูล | Version/Update | ความละเอียด (Resolution) | หน่วยวัด |
|---------------------------------|--|----------------------|--------------------------|--|
| RF _{Daily_Rain} | ข้อมูลฝนจาก สสน. | อัปเดตรายวัน | 5 x 5 กิโลเมตร | มม. / 7 วัน |
| RF _{3Days_Rain} | คำนวณจาก RF _{Daily_Rain} ข้อมูลฝนจาก สสน. | อัปเดตรายวัน | 5 x 5 กิโลเมตร | มม. / 21 วัน |
| RF _{Drainage_Capacity} | โพลดข้อมูล DEM จาก SRTM คำนวณจาก DEM | อัปเดต 7/12/23 | 30 x 30 เมตร | Drainage Capacity 8 = ความสามารถในการระบายน้ำสูง 0 = พื้นที่รับน้ำความสามารถในการระบายน้ำต่ำ |
| RF _{LULC} | NA | อัปเดต 2022 | NA | รหัสประเภทการใช้ที่ดิน |
| RF _{Plan_Curvature} | โพลดข้อมูล DEM จาก SRTM คำนวณจาก DEM | อัปเดต 7/12/23 | 30 x 30 เมตร | Plan Curvature -1 = โค้งเข้าหาเส้นทาง 0 = เส้นตรง 1 = โค้งออกจากเส้นทาง |
| RF _{Profile_Curvature} | โพลดข้อมูล DEM จาก SRTM คำนวณจาก DEM | อัปเดต 7/12/23 | 30 x 30 เมตร | Profile Curvature -1 = โค้งขึ้นข้างบน 0 = เส้นตรง 1 = โค้งลงข้างล่าง |
| RF _{DTWA} | ข้อมูล JRC Global Surface Water Dataset โพลดจาก Google Earth Engine | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | 1 x 1 กิโลเมตร | NA |



ตารางที่ 4 ข้อมูลแหล่งที่มาของแต่ละ Risk Factor (RF) และรายละเอียดของข้อมูลของปัจจัยเสี่ยงดินโคลนถล่มสายทาง (ต่อ)

| ดัชนี (RF) | แหล่งที่มาของข้อมูล | Version/Update | ความละเอียด (Resolution) | หน่วยวัด |
|---------------------------------|---|----------------------|--------------------------|---|
| RF _{Soil_type} | ข้อมูล Soil Texture (USDA) โหลดจาก Google Earth Engine | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | 1 x 1 กิโลเมตร | รหัสประเภทดิน |
| RF _{NDVI} | ข้อมูลจาก MODIS โหลดจาก Google Earth Engine | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | 1 x 1 กิโลเมตร | NDVI ค่าบวก = มีพืชในพื้นที่มาก ค่าศูนย์ = พื้นที่ไม่มีพืชหรือมีพืชน้อย ค่าลบ = ไม่มีพืชในพื้นที่ |
| RF _{NDWI} | ข้อมูลจาก Sentinel-2 โหลดจาก Google Earth Engine | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | 1 x 1 กิโลเมตร | NDWI ค่าบวก = มีน้ำในพื้นที่มาก ค่าศูนย์ = เป็นพื้นที่ที่มีพืชหรือเป็นดินที่มีความชื้น ค่าลบ = ไม่มีน้ำในพื้นที่ |
| RF _{Landslide_History} | ข้อมูลจาก Line OA | เวอร์ชัน 2022 - 2025 | NA | NA |



6. การทดสอบ และการประเมินประสิทธิภาพดัชนีเสี่ยง (Risk Index: RI)

การทดสอบและการประเมินประสิทธิภาพดัชนีเสี่ยง มีแนวทางในการคำนวณตรวจสอบ คือ ประมวลผล/คำนวณดัชนีเสี่ยง ตั้งแต่ มกราคม 2568 ถึง พฤษภาคม 2568 ซึ่งจะได้ภาพรายวันที่จากสมการ RI แล้วนำข้อมูลจุดพิกัดรายงานของระบบ Line App มาทำการประเมิน โดยการตั้งเงื่อนไขการตรวจสอบ คือ ตำแหน่งรายงานจุดเกิดภัยจะต้องมีค่าความเสี่ยงสูงกว่า 50 ถึงจะนับว่า RI ประเมินได้ถูกต้อง สำหรับตำแหน่งรายงานจุดเกิดภัยที่มีความเสี่ยงน้อยกว่า 50 ถือว่า RI ประเมินผิดพลาด โดยแยกเป็นการประเมินตามประเภทดัชนี

สำหรับเกณฑ์หรือวิธีการคำนวณตัวเลขเพื่อประเมินคุณภาพของดัชนีเสี่ยงที่สร้างขึ้น คำนวณจากเครื่องมือ 4 ตัว ประกอบไปด้วย

(1) Precision (ความแม่นยำของดัชนี)

นิยาม : คือ อัตราส่วนของความถูกต้องจุดที่ทำนายว่าเกิดและเกิดจริง ต่อ ผลตรวจสอบจำนวนรวมของที่ทำนายว่าจะเกิดขึ้นทั้งหมด (รวมทั้งจุดที่ทำนายถูกและทำนายผิดไปจากความเป็นจริง)

สูตร : $Precision = \frac{True\ Positive}{(True\ Positives + False\ Positive)}$

วัตถุประสงค์ : เพื่อใช้แสดงว่าเมื่อแบบจำลองทำนายว่าจะเกิดเหตุการณ์แล้วมีจำนวนเหตุการณ์เกิดจริงใกล้เคียงกับที่ทำนาย

กรณีใช้งาน : เช่น ในกรณีที่ ทำนายว่าเกิดเหตุการณ์แล้วไม่เกิดจริงมีจำนวนมาก ตัวเลข Precision ก็ต่ำกว่า 1.0 และเข้าใกล้ 0.0 ถ้ามี Precision สูง ก็จะมีค่าเข้าใกล้ 1.0 ค่านี้ สามารถบอกคุณภาพของการทำนายการเกิดและการเกิดขึ้นจริงนี้ได้

(2) Recall (การตอบสนองต่อการทำนายได้ถูกต้อง)

นิยาม : คือ อัตราส่วนของ จำนวนจุดที่ทำนายว่าจะเกิด ต่อ จำนวนจุดที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด

สูตร : $Recall = \frac{True\ Positive}{(True\ Positives + False\ Negatives)}$

วัตถุประสงค์ : ใช้สำหรับตรวจสอบความสามารถของแบบจำลองโดยเฉพาะในกรณี ความถูกต้องในการเกิดขึ้นจริง

กรณีใช้งาน : ในกรณีนี้จะแตกต่างจาก “ความแม่นยำของดัชนี” คือ ความไวของการทำนาย จะให้ความสนใจเพียงสัดส่วนระหว่างจุดที่ทำนายว่าจะเกิดกับจุดที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด เช่น ในกรณีเกิดโรคระบาดและทำนายจำนวนผู้ป่วยในจังหวัด ก็จะสนใจว่าแบบจำลองทำนายผู้ป่วยต่อผู้ป่วยจริงเท่าใด เป็นสำคัญ โดยไม่สนใจจำนวนที่ทำนายผิดพลาด



(3) F1-Score

นิยาม : คือ การเฉลี่ยน้ำหนักระหว่าง Precision กับ Recall

สูตร : $F1-Score = 2 * (Precision * Recall) / (Precision + Recall)$

วัตถุประสงค์ : ใช้สำหรับแสดงประสิทธิภาพทั้งเรื่องของ Precision (ความแม่นยำ) และ Recall (ความตอบสนองต่อการทำนาย) ด้วยเลขตัวเดียวทั้งสองความหมาย

กรณีใช้งาน : ในกรณีที่ถูกต้องที่สุด Precision = 1.0 และ Recall = 1.0 ค่า F1-Score จะเท่ากับ $2 * (1.0 * 1.0) / (1.0 + 1.0) = 1$

(4) Support

นิยาม : จำนวนที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ

วัตถุประสงค์ : ใช้สำหรับพิจารณาจำนวนที่ทดสอบ ทั้งส่วนที่เกิดขึ้นจริง และไม่เกิดขึ้นจริง ร่วมกับค่า Precision, Recall และ F1-Score

กรณีใช้งาน : ใช้ในการยืนยันการทดสอบ Precision, Recall และ F1-Score เช่น มีการสุ่มใส่ข้อมูลจุดที่เกิดจริงเป็น True ก็จุด และจุดที่ไม่เกิดเหตุการณ์ False ก็จุด

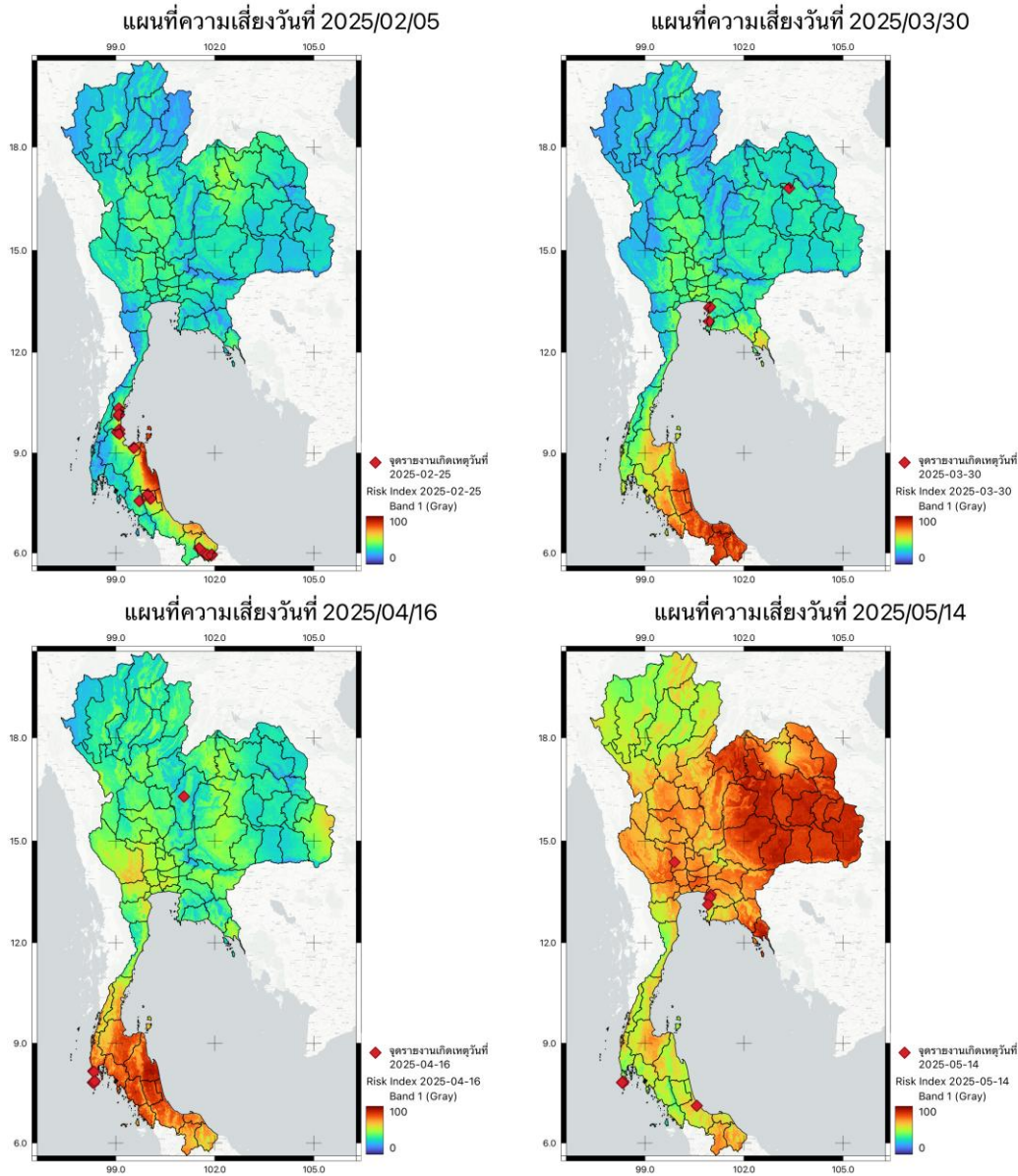
หมายเหตุ : การอธิบาย [True, False] และ [Positive, Negative]

- True Positive คือ ทำนายว่าจะเกิดภัยพิบัติ และเกิดภัยพิบัติจริง
- False Positive คือ ทำนายว่าจะเกิดภัยพิบัติ แต่ไม่เกิดภัยพิบัติ
- True Negative คือ ทำนายว่าจะไม่เกิดภัยพิบัติ แต่เกิดภัยพิบัติ
- False Negative คือ ทำนายว่าจะไม่เกิดภัยพิบัติ และไม่เกิดภัยพิบัติ



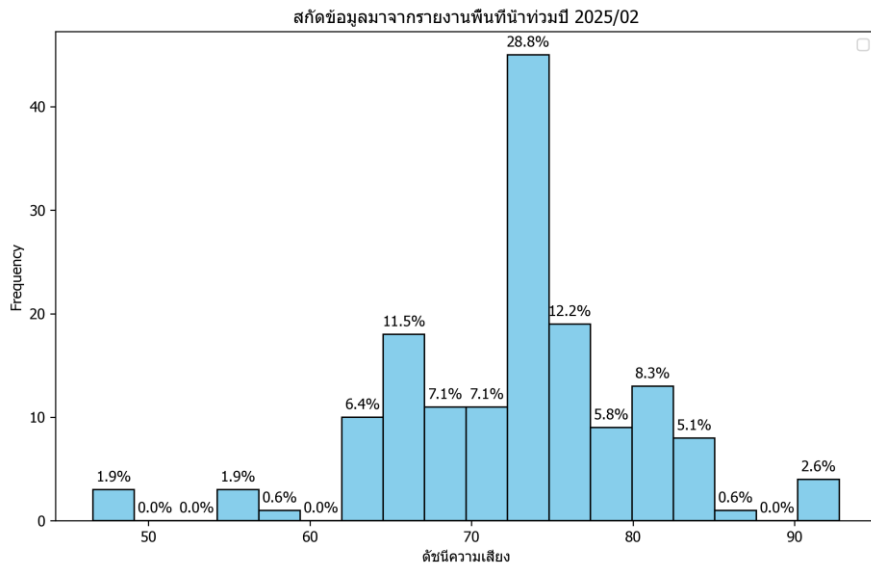
6.1 ดัชนีเสี่ยงภัยน้ำท่วมเส้นทาง (Road Flood Risk Index: RFRI)

คำนวณข้อมูลเรสเตอร์กริดขนาด 250x250 ตารางเมตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2568 ถึง พฤษภาคม 2568 จากข้อมูล RF แต่ละชนิด ถ่วงน้ำหนักร่วมกันเป็นดัชนี RI ด้วยสมการที่ (3) ได้ทำการประมวลผล RFRI รายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2568 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2568 เป็นข้อมูลเรสเตอร์กริดขนาด 250x250 ตร.เมตร สำหรับนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองมีตัวอย่างข้อมูลบางส่วนดังรูป



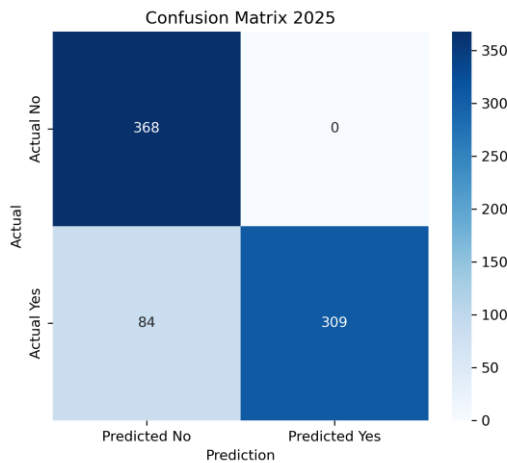
รูปที่ 91 ตัวอย่างข้อมูลรายวันดัชนี RFRI ของวันที่ 5 ก.พ. 2568 (ซ้ายบน) วันที่ 30 มี.ค. 2568 (ขวาบน) วันที่ 16 เม.ย. 2568 (ซ้ายล่าง) และวันที่ 14 พ.ค. 2568 (ขวาล่าง) ความละเอียด 250x250 ตร.เมตร แสดงร่วมกับจุดรายงานเกิดน้ำท่วมสายทางจาก Line App (จุดสี่เหลี่ยมสีแดง)





รูปที่ 92 ความถี่สะสมของตำแหน่งที่เกิดภัยน้ำท่วมตั้งแต่ มกราคม ถึง พฤษภาคม 2568 จากรายงาน Line App แบ่งจำนวนจุดเป็นความถี่สะสมของค่าความเสี่ยงภัยน้ำท่วม 0 ถึง 100 ข้อมูลส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 50

ข้อมูลผลการสุ่มตำแหน่งที่เกิดภัยน้ำท่วมจาก Line App แสดงดังรูปที่ 92 จำนวน 393 จุด (ข้อมูลช่วงมกราคม ถึง พฤษภาคม 2568) จากข้อมูล RFRI ที่จัดทำเป็นข้อมูลรายวัน พบว่าค่า RI ของจุดที่เกิดน้ำท่วมสายทางนั้นส่วนใหญ่ 90% มีตัวเลข RI หรือเลขความเสี่ยงเกิน 50% บ่งบอกว่าไม่มีจุดใดที่ค่า RI มีค่าใกล้ 0 ซึ่งแสดงว่าผลจากแบบจำลอง RFRI มีความน่าเชื่อถือ



| | Precision | Recall | F1-Score | Support |
|--------------|-----------|--------|----------|---------|
| 0 | 0.81 | 1.00 | 0.90 | 368 |
| 1 | 1.00 | 0.79 | 0.88 | 393 |
| accuracy | 0.89 | | | |
| macro avg | 0.91 | 0.89 | 0.89 | 761 |
| weighted avg | 0.91 | 0.89 | 0.89 | 761 |

รูปที่ 93 ผลการประเมินจุดที่เกิดเหตุน้ำท่วมสายทาง 393 จุด (True) และจุดสุ่มที่ไม่เกิดเหตุการณ์ใด ๆ จำนวน 368 จุด (False) คำนวณ Confusion Matrix ได้ผลความแม่นยำของแบบจำลอง 91% ความสามารถในการตอบสนอง 89% และ F1-Score เท่ากับ 89% จากการทดสอบทั้งสิ้น 761 จุด

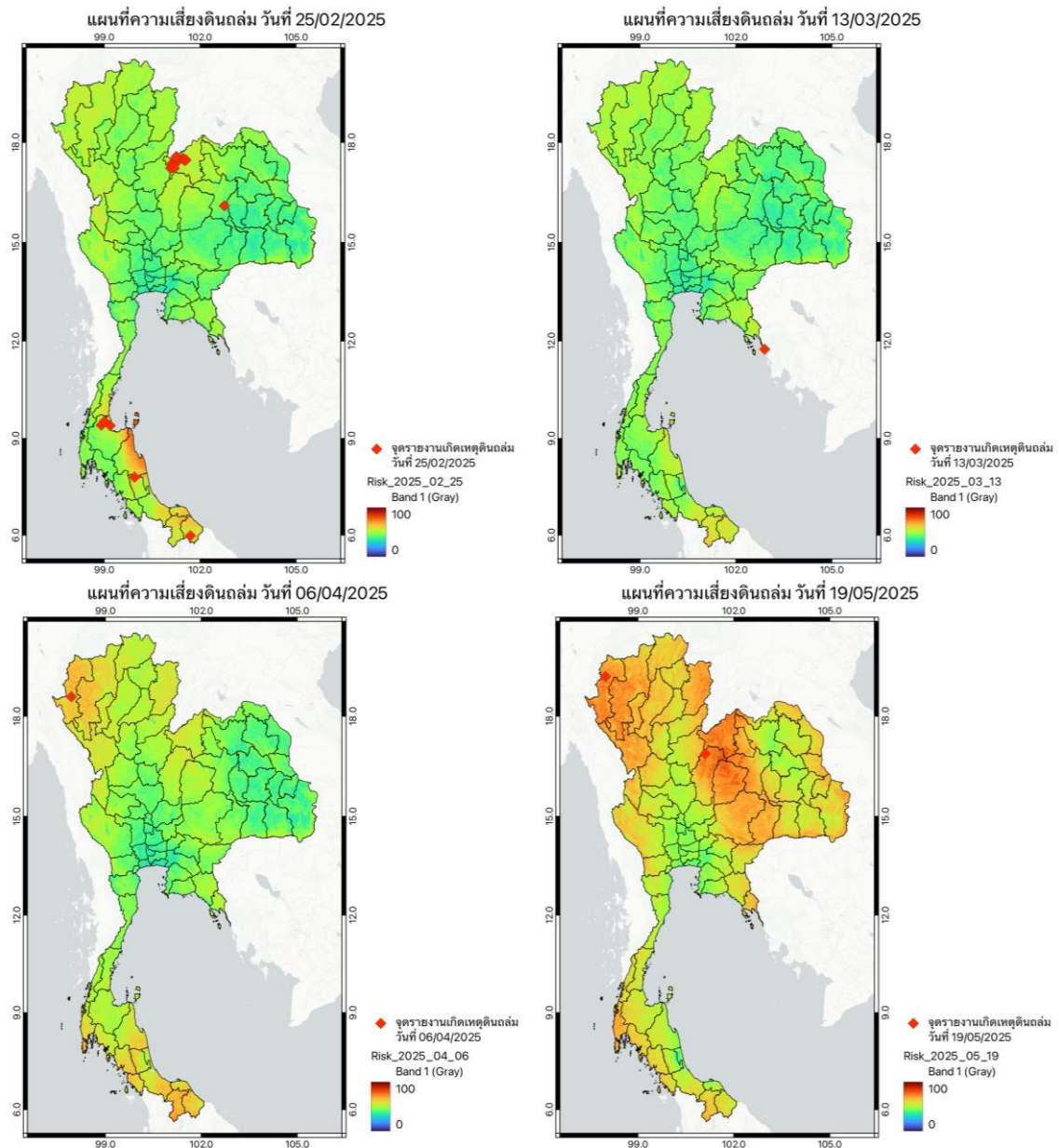




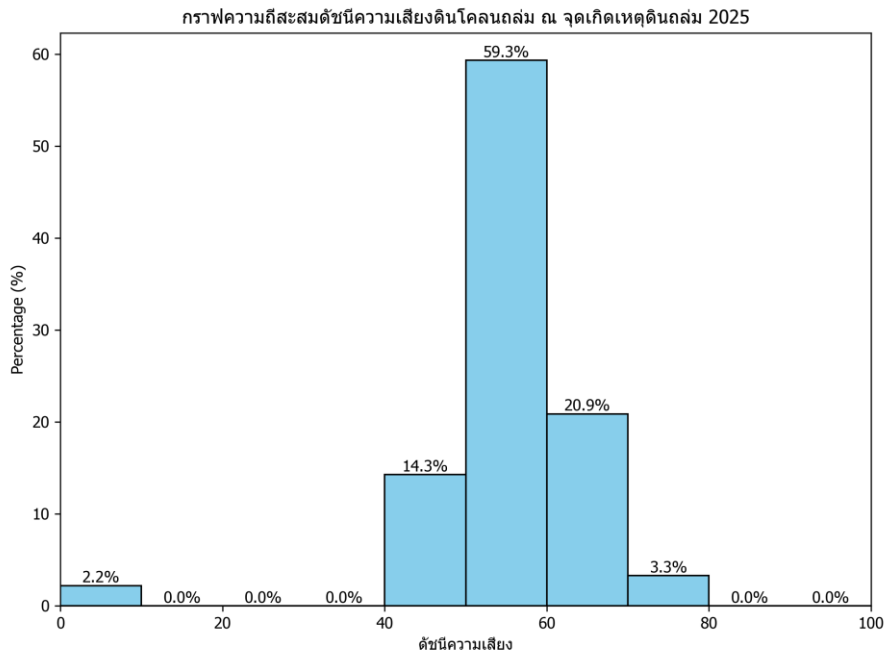
ผลการคำนวณเมตริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) แสดงดังรูปที่ 93 ได้รับความถูกต้องรวม F1-Score ถึง 89% โดยการคิดคำนวณเมตริกซ์ คัดจากจำนวนจุดทั้ง 761 จุดที่นำมาใช้ตรวจสอบ (Support) แบ่งเป็น True จำนวน 393 จุด เป็น False จำนวน 368 จุด การนับคิดจากดัชนี RFRI > 50 ถือว่าทำนายเป็น Positive และ ถ้าดัชนี RFRI < 50 ถือว่าทำนายเป็นค่า Negative ความถูกต้องของ Precision มีค่า 91% และ Recall มีค่า 89%

6.2 ดัชนีเสี่ยงภัยดินถล่มเส้นทาง (Road Landslide Risk Index: RLRI)

คำนวณข้อมูลแรสเตอร์กริดขนาด 250x250 ตารางเมตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2568 ถึง พฤษภาคม 2568 จากข้อมูล RF แต่ละชนิด ถ่วงน้ำหนักร่วมกันเป็นดัชนี RI ด้วยสมการที่ (4) ได้ทำการประมวลผล RFRI รายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2568 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2568 เป็นข้อมูลแรสเตอร์กริดขนาด 250x250 ตร.เมตร สำหรับนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองมีตัวอย่างข้อมูลบางส่วนดังรูป

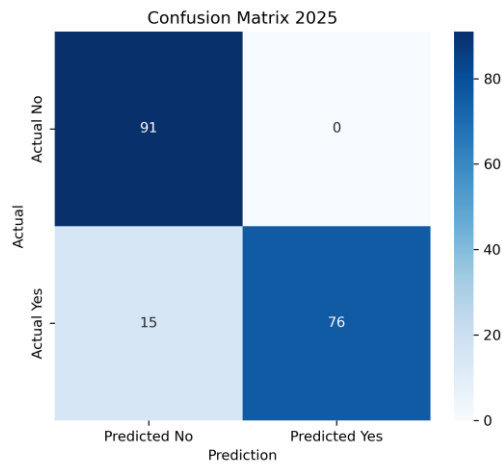


รูปที่ 94 ตัวอย่างข้อมูลรายวันดัชนี RLRI วันที่ 25 ก.พ. 2568 (ซ้ายบน) วันที่ 13 มี.ค. 2568 (ขวาบน) วันที่ 6 เม.ย. 2568 (ซ้ายล่าง) และวันที่ 19 พ.ค. 2568 (ขวาล่าง) ความละเอียด 250x250 ตารางเมตร แสดงร่วมกับจุดรายงานเกิดดินถล่มสายทางจาก Line App (จุดสีเหลี่ยมสีแดง)



รูปที่ 95 ความถี่สะสมของตำแหน่งที่เกิดภัยดินถล่มตั้งแต่ มกราคม ถึง พฤษภาคม 2568 จากรายงาน Line App แบ่งจำนวนจุดเป็นความถี่สะสมของค่าความเสี่ยงภัยดินถล่ม 0 ถึง 100 ข้อมูลส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 50

ข้อมูลผลการสุ่มตำแหน่งที่เกิดภัยน้ำท่วมจาก Line App แสดงดังรูปที่ 95 จำนวน 182 จุด (ข้อมูลช่วงมกราคม ถึง พฤษภาคม 2568) จากข้อมูล RLRI ที่จัดทำเป็นข้อมูลรายวัน พบว่าค่า RI ของจุดที่เกิดดินถล่มสายทางนั้นส่วนใหญ่ 80% มีตัวเลข RI หรือเลขความเสี่ยงเกิน 50% และมีจุดที่ค่า RI มีค่าใกล้ 0 อยู่เพียง 2.2% (มีสมมุติฐานว่าดินถล่มในกรณี backslope ที่เป็นผลจากงานวิศวกรรม มีขนาดเล็กกว่าเซนเซอร์ของดาวเทียมจึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบจุดเกิดดินถล่มประเภทนี้ได้) ซึ่งก็ถือว่าผลจากแบบจำลอง RLRI มีความน่าเชื่อถือ



| | Precision | Recall | F1-Score | Support |
|--------------|-----------|--------|----------|---------|
| 0 | 0.86 | 1.00 | 0.92 | 91 |
| 1 | 1.00 | 0.84 | 0.91 | 91 |
| accuracy | 0.92 | | | |
| macro avg | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 182 |
| weighted avg | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 182 |

รูปที่ 96 ผลการประเมินจุดที่เกิดดินถล่มสายทาง 91 จุด (True) และจุดสุ่มที่ไม่เกิดเหตุการณ์ใด ๆ จำนวน 91 จุด (False) คำนวณ confusion matrix ได้ผลความแม่นยำของแบบจำลอง 93% ความสามารถในการตอบสนอง 92% และ F1-Score เท่ากับ 92% จากการทดสอบทั้งสิ้น 182 จุด

ผลการคำนวณเมตริกความสับสน (Confusion Matrix) แสดงดังรูปที่ 96 ได้ความถูกต้องรวม F1-Score ถึง 92% โดยการคิดคำนวณเมตริก คัดจากจำนวนจุดทั้ง 182 จุดที่นำมาใช้ตรวจสอบ (Support) แบ่งเป็น True จำนวน 91 จุด เป็น False จำนวน 91 จุด การนับคิดจากถ้าดัชนี RLRI > 50 ถือว่าทำนายเป็น Positive และ ถ้าดัชนี RFRI < 50 ถือว่าทำนายเป็นค่า Negative ความถูกต้องของ Precision มีค่า 93% และ Recall มีค่า 92%



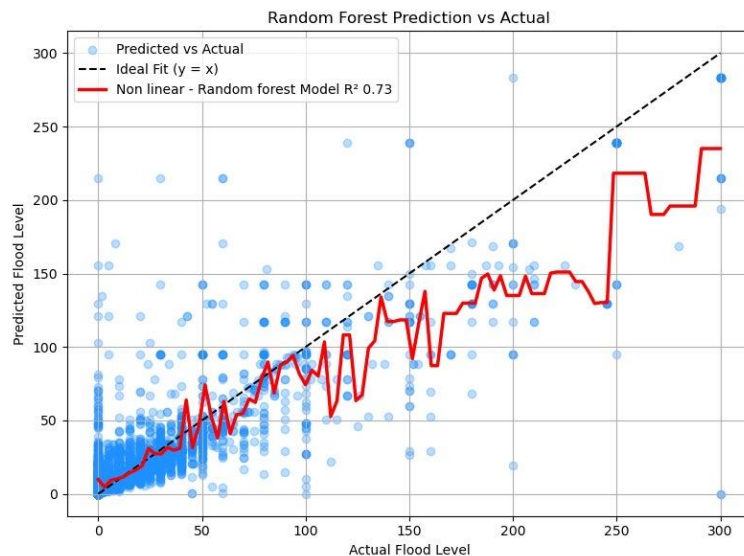
7. การพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์ระดับน้ำ

การประมวลผลคาดการณ์ระดับน้ำท่วมเส้นทาง พัฒนาแบบจำลองด้วยการคำนวณ Random Forest Regression โดยใช้ Water Level (ระดับน้ำ) จากจตุรกายานระดับน้ำท่วมเส้นทางของระบบงานกรมทางหลวง จำนวน 15,172 จุด ตั้งแต่เดือนกันยายน ปี ค.ศ. 2022 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2025 มาใช้เป็นตัวแปรตาม และค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นตัวแปรอิสระ สำหรับสร้าง Training Dataset แบ่งเป็น Training 70% และ Test 30% กำหนดจำนวนต้นไม้ 400 และค่าความลึกที่ลึกสุด Max Depth ดังสมการ

$$Water Level = RandomForest(RF_i)$$

โดยมีปัจจัย $RF_i = \{ \text{ฝนสะสม 3 วัน, ฝนรายวัน, Drainage Capability, Elevation, NDVI, NDWI และ TWI} \}$ การทดสอบ

ผลลัพธ์จากการตรวจสอบ R^2 ของสมการ Random Forest แสดงดังรูปที่ 97 จะเห็นว่าในช่วงที่ระดับน้ำเหนือผิวทางสูงระหว่าง 0 - 25 ซม. จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับจตุรกายานระดับน้ำ จากนั้นจะเริ่มมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นตามระดับน้ำที่สูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ซึ่งอาจมีสมมุติฐานได้ว่าในระดับน้ำที่สูง ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปัจจัยทั้ง 7 มีค่าน้อยลง และแบบจำลองให้ความถูกต้องโดยรวมที่ 73 เปอร์เซนต์



รูปที่ 97 แบบจำลอง Random Forest Regression คำนวณระดับน้ำเหนือผิวทาง (เส้นสีแดง)

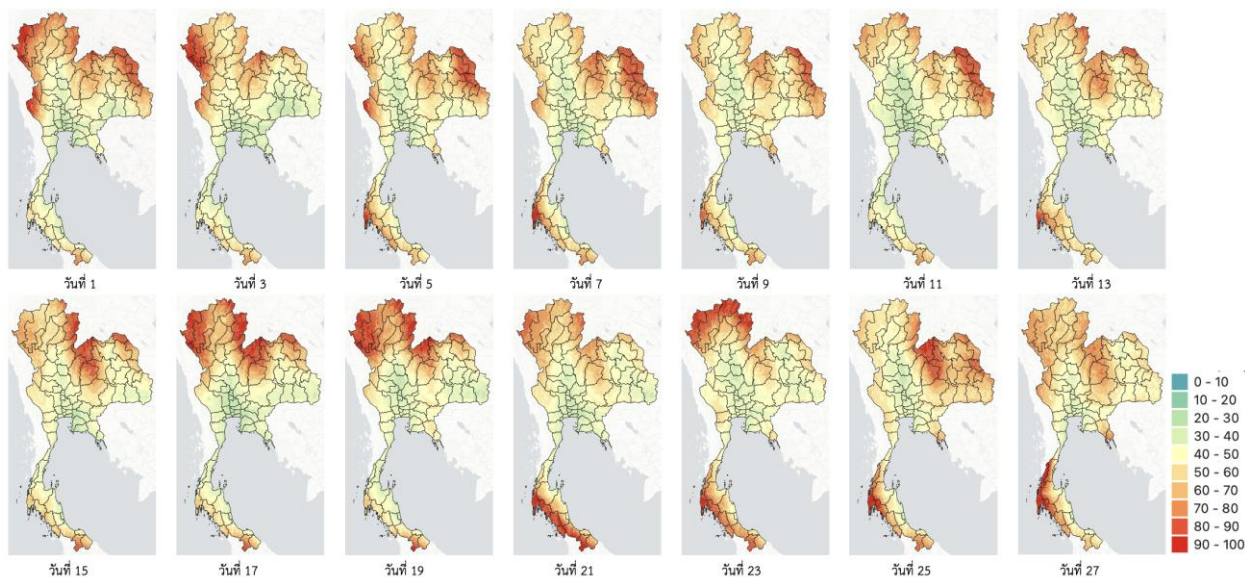
เปรียบเทียบกับข้อมูลจุด (ระดับน้ำจากรายงาน, ระดับน้ำจากการคำนวณ) (จุดสีน้ำเงิน)

การรายงานระดับน้ำนี้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับพื้นที่ที่มีความเสี่ยงน้ำท่วมเส้นทางสูง เพื่อเป็นค่าคาดการณ์ระดับน้ำจากผิวนถนนต่อไป



8. ตัวอย่างการประมวลผลแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติทางถนน

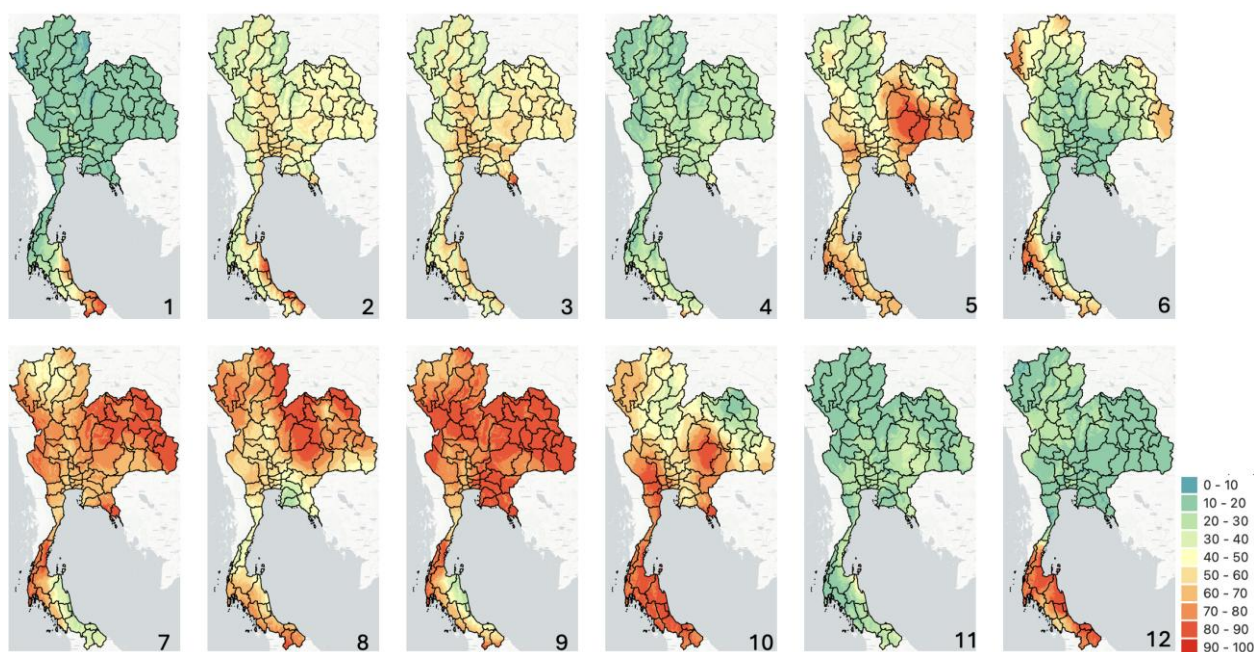
ตัวอย่างพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ที่ประมวลผลเป็น Road Landslide Risk Index (RLRI) วันสุ่ม ในเดือนกันยายน ค.ศ. 2024 ซึ่งเป็นเดือนที่มีการรายงานการเกิดมากที่สุด และมีรายงานการเกิดในพื้นที่สูงภาคเหนือเป็นส่วนใหญ่ แสดงแผนที่ตามค่าปัจจัยที่คำนวณเป็นค่าปกติแล้ว และผ่านการถ่วงน้ำหนักตามผลการวิเคราะห์ในโครงการแล้ว แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีความเสี่ยงไปตาม การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมจากการตรวจวัด ดังรูป



รูปที่ 98 ตัวอย่างแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มจากการสุ่มวันที่ เดือนกันยายน ปี ค.ศ. 2024 (เดือนที่มีรายงานการเกิดมากที่สุด) แสดงระดับดัชนีเสี่ยงภัยดินถล่มจาก 0 (เสี่ยงน้อยที่สุด) ไปจนถึง 100 (เสี่ยงมากที่สุด) แสดงการเปลี่ยนแปลงไปตามการตรวจวัดปัจจัยย่อยที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 99 แสดงแผนที่ดัชนีเสี่ยงภัยน้ำท่วม จากการสุ่มแสดงผลทุกวันที่ 15 ของทุกเดือนตั้งแต่มกราคม ไปจนถึงธันวาคม ปี ค.ศ. 2024 ที่คำนวณเป็นดัชนีเสี่ยงระหว่าง 0 (เสี่ยงน้อยที่สุด สีเขียว) ไปจนถึง 100 (เสี่ยงมากที่สุด สีแดง) เป็นผลจากการคำนวณถ่วงน้ำหนักระหว่างปัจจัยกายภาพ เช่น ที่ลุ่ม ความสามารถในการระบายน้ำ การเป็นพื้นที่รับน้ำ และปัจจัยจากปริมาณฝน สองรูปแบบ คือ ฝนรายวัน และฝนสะสม ซึ่งเป็นดัชนีที่ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฝนจะมีค่ามากกว่าปัจจัยกายภาพ จึงทำให้เป็นพื้นที่เสี่ยงในช่วงฤดูฝน มีพื้นที่ครอบคลุมมากกว่าในช่วงหน้าแล้ง



รูปที่ 99 ตัวอย่างแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจากการสุ่มข้อมูลทุกวันที่ 15 ของทุกเดือนใน ปี ค.ศ. 2024 (เลขกำกับหมายถึงเลขเดือน) แสดงระดับดัชนีเสี่ยงภัยน้ำท่วมจาก 0 (เสี่ยงน้อยที่สุด) ไปจนถึง 100 (เสี่ยงมากที่สุด) แสดงการเปลี่ยนแปลงไปตามการตรวจวัดปัจจัยย่อยที่เกี่ยวข้องและความเสี่ยงตามฤดูกาล (หน้าแล้ง และหน้าฝน)