**การวิเคราะห์ปัจจัยและการทำนายแบบจำลองการเกิดถล่มโดยใช้**

**เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย**

**Factor analysis and Prediction of Model landslide using**

**Machine Learning Model In Dan Sai District, Loei Province**

**กาญจนา ศักดิ์ทอง1, อารียา ใจซื่อ2 และมรกต วรชัยรุ่งเรือง3**

**Kanjana Saktong1, Areeya Jaisue2 and Morakot Worachairungreung3**

สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

1 ถนนอู่ทองนอก แขวงดุสิต เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทรศัพท์ 096-515-6223 e-mail: [s59122401021@ssru.ac.th](mailto:s59122401021@ssru.ac.th), [s59122401019@ssru.ac.th](mailto:s59122401019@ssru.ac.th), [morakot.wo@ssru.ac.th](mailto:morakot.wo@ssru.ac.th)

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุดและวิเคราะห์แบบจำลองที่เหมาะสมต่อการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงเกิดดินถล่มในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย โดยอาศัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึง 2560 ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์มี 9 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน หน้ารับน้ำฝน ความสูงของภูมิประเทศ ชนิดหิน ความโค้งนูนของภูมิประเทศ ความโค้งเว้าของภูมิประเทศ ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากถนน และระยะห่างจากรอยเลื่อน แล้วทำการสร้างแผนที่แต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบกริดขนาด 30x30 เมตร และแปลงข้อมูลปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบ Excel File เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการถดถอยโลจิสติก ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุดประกอบด้วยปัจจัย ความลาดชัน ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากรอยเลื่อน และชนิดหิน โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ที่ 67% จากนั้นนำปัจจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์หาแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองนาอีฟเบย์(NB),ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน(SVM) และแรนดอมฟอเรส(RF) ให้ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 57.37% 78.20% และ 79.16% ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** ดินถล่ม, การทำนาย, การเรียนรู้ของเครื่อง

**Abstract**

This study is aimed to analyze the most factors which affect the cause of landslide and also analyze the model which is suitable to the prediction of the landslide risk area in Dansai district, Loei province by the geographic information system (GIS) from 2013 to 2017. There are nine factors for analysis such as slope, slope aspect, relief, lithology, profile curve, plan curve, distance from the drainage, distance from the road and distance from the fault. Then create maps for each factor to be grid size 30x30 meters and transform data of the factors to Excel File to access them to the logistic regression. The research found that the most factors which affect the landslide are slope, distance from the drainage, distance from the fault, and lithology. The R - Squared values are 67%, then analyze all the factors to create the models. Besides, the study found that Naïve Bayes Models, Support Vector Machine and Random Forest have accuracy values at 57.37%, 78.20%, and 79.16% respectively.

**Keywords :** landslide, prediction, machine learning model

**1. บทนำ**

ดินถล่มเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ เศรษฐกิจ และสภาพแวดล้อม (Lee and Jones, 2004) ถือเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีความรุนแรงเป็นอย่างมาก มักเกิดในกรณีที่มี ฝนตกหนัก ในบริเวณพื้นที่ที่เป็นภูเขา ทำให้ชั้นดินอุ้มน้ำไว้ไม่ไหวจนเกิดการอิ่มตัวและเกิดการพังทลาย ของผิวหน้าดิน (สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย กรมทรัพยากรธรณี, 2553) โดยดินถล่มเป็น ภัยพิบัติที่เกิดจากมวลดินและหินที่ไหลมาตามลาดเขา เกิดการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วจากอิทธิพลของ แรงโน้มถ่วงของโลกโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง (ภาณุวัสน์ เขียวสลับ, 2558)

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้เกิดภัยพิบัติแผ่นดินถล่มขึ้นในประเทศไทยบ่อยครั้ง เมื่อเกิดฝนตกหนัก อย่างต่อเนื่อง การไหลบ่าของน้ำอย่างรุนแรง ได้พัดพาเอาหิน ดิน และต้นไม้ ไหลลงมาจากที่สูงเข้าปะทะทำลายบ้านเรือน ตลอดจนสิ่งสาธารณะประโยชน์เกิดความเสียหาย ผลกระทบจากการเกิดภัยพิบัติดินถล่มในแต่ละครั้งจึงสร้างความสูญเสียให้แก่ประชาชนได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต อาคารบ้านเรือนและสิ่งก่อสร้างพังทลายจาการทับถมของเศษหินและดินที่เคลื่อนมากับการไหลของน้ำ พืชผลทางการเกษตร ไร่นา ได้รับความเสียหาย อีกทั้งเส้นทางคมนาคม สาธารณูปโภคถูกตัดขาดและถูกทำลาย (สุเพชร จิรขกุล, 2554) รวมถึงประเทศไทยมีน้ำเป็นต้นทุนในการตอบสนองความเป็นอยู่ของประชาชนในประเทศ รวมทั้งการพัฒนา ด้านการเกษตร เศรษฐกิจและอุตสาหกรรม โดยคาดว่าในอนาคตข้างหน้า ความต้องการน้ำจะสูงมากขึ้น แต่ปริมาณต้นทุนที่มีอยู่กลับไม่เพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจากในหลายพื้นที่ของประเทศยังประสบปัญหาพื้นที่ป่าต้นน้ำเสื่อมโทรม เกิดการพังทลายของดิน จึงส่งผลให้ขาดแคลนน้ำ ภัยแล้ง น้ำหลาก เป็นปัญหารุนแรงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและการผลิตทางเศรษฐกิจของประเทศทั้งในปัจจุบันและอนาคต (ร่างแผนยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ, 2558)

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ได้เกิดเหตุการณ์แผ่นดินถล่มขึ้นหลายครั้งในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินหลายครั้ง เมื่อวันที่ 10 กันยายน 2550 เวลา 02.00 น. ได้เกิด น้ำป่าไหลหลากจากเทือกเขาเข้าท่วมหมู่บ้านน้ำพุง หมู่ 3 ตําบลโป่ง อําเภอด่านซ้าย อย่างหนักทำให้ เกิดดินถล่มบ้านเรือน 4 หลังที่อยู่ปากแม่น้ำดงทิพย์ถูกกระแสน้ำซัดพังทั้งหลัง เขตพื้นที่เทศบาลตําบลด่านซ้าย ได้มีน้ำล้นตลิ่งจากลำน้ำหมัน ท่วมบ้านเรือนราษฎรประมาณ 30 หลังคาเรือน โรงเรียนด่านซ้าย ถูกน้ำท่วมสูง 1 เมตร มีผู้เสียชีวิต 3 ราย เมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2552 เวลาประมาณ 20.30 น. เกิดฝนตกหนักต่อเนื่อง มีดินถล่มในพื้นที่จังหวัดเลย ทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลากเข้าท่วมบ้านเรือนราษฎรในพื้นที่อําเภอด่านซ้าย 4 ตําบล ได้แก่ หมู่ 2 บ้านโคกตาด ตําบลโคกงาม หมู่ 5 บ้านนาข่า ตําบลปากหมัน หมู่ 7 บ้านหนามแท่ง ตําบลด่านซ้าย และหมู่ 7 บ้านแก่งม่วง ตําบลนาดี ราษฎรได้รับความเดือดร้อน 300 ครัวเรือน 600 คน เมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม 2558 เวลา 18.00 น. ได้เกิดเหตุน้ำป่าไหลหลากและดินโคลนถล่มที่หมู่ 11 บ้านแก่วตาว ตําบลอิปุ่ม อําเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย มีผู้เสียชีวิต 2 ราย ทั้ง 2 อยู่ในหมู่ 11 ตําบลอิปุ่ม อําเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย เมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2559 มีน้ำป่าไหลหลากไหลเข้าท่วมพื้นที่อําเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ที่หลังเกิดฝนตกอย่างหนักทั่วพื้นที่ของอําเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย นานกว่าครึ่งชั่วโมง ทําให้ มีน้ำป่าที่ไหลหลากมาจากตําบลโพนสูง ลงสู่ลําน้ำห้วยน้ำศอกที่บรรจบกับแม่น้ำหมัน ทําให้ ลําน้ำห้วยน้ำศอกและลําน้ำหมันที่เคยแห้งขอดจนเห็นพื้นดินกลับมีน้ำเพิ่มสูงขึ้น 2-3 เมตร หมู่ 9 บ้านหัวนา-แหลม ตําบลนาหอ เป็นอีกหนึ่งจุดที่มีพื้นที่ต่ำ น้ำป่าพร้อมโคลนจึงไหลหลากผ่านหมู่บ้านท่วมสะพานและ ถนนเข้าบ้านเรือนประชาชนโดยน้ำป่ามาไหลมาอย่างรวดเร็วแล้วหายไป พบมีบ้านได้รับความเสียหาย 1 หลังและ เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2559 เกิดน้ำป่าไหลหลากและดินโคลถล่มเข้าที่หมู่10บ้านป่าสะแข ตําบลอิปุ่ม อําเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ชาวบ้านได้รับความเดือดร้อน 14 ครัวเรือน (ไทยรัฐ, (2552).ข่าวดินถล่ม. จาก <http://www.thairath.co.th>)

ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาในพื้นที่อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย เพื่อลดหรือบรรเทา ความรุนแรงของภัยที่จะเกิดขึ้น รวมถึงลดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนในประเทศอีกทั้งเพื่อเป็นแนวทางการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต

**2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

2.1 วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดดินถล่มในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

2.2 วิเคราะห์แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมในการคาดการณ์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการ เกิดดินถล่มในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

**3. การทบทวนวรรณกรรม**

ดินถล่ม (Landslide or Mass Movement) คือ การเคลื่อนที่ของมวลดิน หรือหิน ลงมาตามลาดเขาด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกโดยอาจอาศัยตัวกลางระหว่างการพัดพา โดยปกติดินถล่มที่เกิดขึ้น ในประเทศไทยส่วนใหญ่ “น้ำ” จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มเสมอ โดยน้ำจะเป็นตัวลดแรงต้านทาน ในการเคลื่อนตัวของมวลดินหรือหินและน้ำจะเป็นตัวที่ทำให้คุณสมบัติของดินที่เป็นของแข็งเปลี่ยนไปเป็นของเหลวได้ ปรากฏการณ์ที่เกิดได้ทั่วไปอยู่ในบริเวณภูเขาที่มีความลาดชันสูง อย่างไรก็ตาม ในบริเวณที่มี ความลาดชันต่ำก็สามารถเกิดดินถล่มได้ถ้ามีปัจจัยที่ก่อให้เกิดดินถล่ม โดยทั่วไปบริเวณที่มักเกิดดินถล่ม คือ บริเวณที่ใกล้กับแนวรอยเลื่อยที่มีพลังและมีการยกตัวของแผ่นดินขึ้นเป็นภูเขาสูง บริเวณที่ทางน้ำกันเซาะ เป็นโตรกเขาลึกและชัน บริเวณที่มีแนวรอยแตกและรอยแยกหนาแน่นบนลาดเขา บริเวณที่มีการผุผังของหินและทำให้เกิดชั้นดินหนาบนลาดเขา ในบริเวณที่มีความลาดชันต่ำและมีดินที่เกิดจากการผุผังของชั้นหิน บนลาดเขาหนา ดินถล่มมักจะเกิดจากการที่น้ำซึมลงในชั้นดินบนลาดเขาและเกิดแรงดันของน้ำเพิ่มขึ้นใน ชั้นดินโดยเฉพาะในช่วงที่ฝนตกหนัก ในการวิเคราะห์หาพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม ถูกนำมาพิจารณา โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดดินถล่มสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ปัจจัยพื้นฐานและปัจจัยกระตุ้น การศึกษาพิจารณาปัจจัยทั้งสองประเภท ได้แก่ ความลาดชัน หน้ารับน้ำฝน ความโค้งของพื้นที่ ความสูงของพื้นที่ ชนิดของหิน ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากธรณีวิทยาโครงสร้างและสิ่งปกคลุมพื้นที่ สำหรับปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยกระตุ้นที่ทำให้เกิดดินถล่ม (สำนักงานธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2560)

ในการศึกษาคุณลักษณะและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม ในอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน ระดับความสูงของพื้นที่ ระยะห่างจากรอยเลื่อน ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากถนน และลักษณะของหิน ซึ่งมีความสอดคล้องกับการเปรียบเทียบพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่สรอย จังหวัดแพร่ และลุ่มน้ำคลองท่าทน จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ การเกิดดินถล่ม คือ ชนิดของหิน ความลาดชัน ลักษณะของเนื้อดิน การใช้ประโยชน์ที่ดินและความสูงของ พื้นที่ (ภานุวัสน์, 2558) และยังมีความสอดคล้องกับการศึกษาในพื้นที่ตำบลเทพราช อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นพื้นที่ได้รับผลกระทบการเกิดดินถล่ม โดยการศึกษาจากปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อ การเกิดดินถล่ม ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ความลาดชันของพื้นที่ ลักษณะทางธรณีวิทยา และการให้ระดับความสำคัญทางด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นหลักเนื่องจากในพื้นที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีลักษณะแตกต่างและนอกจากการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า การปลูกพืชคลุมดินช่วยลดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินโคลนถล่ม (ธงชัยและคณะ, 2556) และนำมาประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ทางภูมิสารสนเทศศาสตร์ในการวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process : AHP) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความสำคัญและการหาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยและทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด ส่วนใหญ่อยู่ในเขตลุ่มน้ำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย (สุเพชรและคณะ, 2555)

ในสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง หรือมีทางน้ำคดเคี้ยวเป็นจำนวนมากและลักษณะภูมิประเทศที่เป็นร่องเขาด้านหน้ารับน้ำฝน บริเวณที่เป็นหุบเขากว้างใหญ่สลับซับซ้อน ส่วนมากเป็นพื้นที่ที่มีภูเขาสูงชันเป็นส่วนใหญ่ มักจะมีโอกาสที่เกิดดินถล่มได้ง่ายกว่าบริเวณอื่นๆ จากการวิเคราะห์ความรุนแรงของพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในเขตพื้นที่ ตำบลบ้านไผ่ อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์ มักจะเกิดเป็นส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณที่มีภูเขาสูงและอยู่ในป่าสงวน เพราะมีประชาชนได้ลุกล้ำเข้าไปในเขตพื้นที่ป่าสงวนบนภูเขาสูง ซึ่งทำให้ต้นไม้ใหญ่ที่ปกคลุมหน้าดินถูกทำลายไป ทำให้ชั้นดินอุ้มน้ำไว้ไม่ไหว ส่งผลกระทบทำให้เสี่ยงต่อการ เกิดดินถล่มที่มีความรุนแรงสูงและสร้างความเสียหายได้ (ชลดา, 2560)

ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines, SVM) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานที่เกี่ยวข้องกับการจดจำรูปแบบตลอดจนการแก้ปัญหาการจัดกลุ่ม (Classification problem) (Wang et al, 2009) โดยอาศัยหลักการของการหาสัมประสิทธ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกข้อมูลได้ดีที่สุด (optimal separating hyperplane) เมื่อเราพิจารณาข้อมูลที่ประกอบด้วยข้อมูล 2 กลุ่มดังสมการที่ 1

 ……...(1)

เมื่อ 

 โดย 1 คือ ข้อมูลกลุ่มที่ 1 และ -1 คือ ข้อมูลกลุ่มที่ 2

ซึ่งเป็นการกำหนดกลุ่มเป้าหมายให้ SVM โดยที่ SVM นั้นมุ่งเป้าเพื่อหาฟังก์ชันการตัดสินใจที่สามารถแบ่งแยกค่าที่ไม่ทราบได้ดังสมการที่ 2

 ……... (2)

 ……... (3)

กลุ่มข้อมูล x จากสมการที่ 3 ไม่สามารถแบ่งแยกได้สมการเส้นตรงตาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้สมการเส้นตรงแบ่งแยกได้ โดยใช้เคอร์เนลฟังก์ชัน(kernel function)

สำหรับการใช้ SVM ในการหาความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม นั้นมีประสิทธิภาพสูงและจากผลลัพธ์ที่ ได้จาก SVM สามารถสร้างแผนที่ความไวต่อการพังทลายของดินถล่มได้ดี (Pham, 2016)

นาอีฟเบย์ (Naïve Bayesian, NB) คือ เครื่องจักรการเรียนรู้ที่อาศัยหลักการความน่าจะเป็นตามทฤษฎีของเบย์ (Bayes Theorem) ซึ่งมีอังกอริทึมที่ไม่ซับซ้อน เป็นขั้นตอนวิธีในการจำแนกข้อมูล โดยการเรียนรู้ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาสร้างเงื่อนไขการจำแนกข้อมูลใหม่ หลักการของนาอีฟเบย์ใช้ในการคำนวณหาความน่าจะเป็นในการทำนายผล เป็นเทคนิคในการแก้ไขปัญหาแบบจำแนกประเภทที่สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ได้ จะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อใช้ในการสร้างเงื่อไขความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละความสัมพันธ์เหมาะกับกรณีของเชตตัวอย่างที่มีจำนวนมากและคุณสมบัติ (Attribute) ของตัวอย่างไม่ขึ้นต่อกัน โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของข้อมูลเท่ากับสมการ



แรนดอมฟอเรส (Random Forest, RF) คือ การการทำแผนภาพต้นไม้ (Decision Tree) สร้างโมเดลขึ้นมาหลายๆ โมเดลโดยวิธีการสุ่มตัวแปรและใช้คุณสมบัติที่ต่างกันในการสอน แล้วนำผลที่ได้แต่ละโมเดล มารวมกันพร้อมนับจำนวนที่มีจำนวนซ้ำกันมากที่สุด สรุปออกมาเป็นผลลัพธ์สุดท้าย วิธีการของ Decision Tree คือ เทคนิคที่ให้ผลลัพธ์ในลักษณะเป็นโครงสร้างต้นไม้ ภายใต้ต้นไม้จะประกอบไปด้วยโหนด (node) ซึ่งแต่ละโหนดจะมีเงื่อนไขของคุณลักษณะเป็นตัวทดสอบ กิ่งของต้นไม้ (branch) แสดงถึงค่าที่เป็นไปได้ของคุณลักษณะที่ถูกเลือกทดสอบและใบ (leaf) ก็คือผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งข้อดีของการใช้วิธีนี้คือ ให้ผลพยากรณ์ที่แม่นยำและเกิดปัญหาค่าความผิดพลาดน้อย RF ได้นำมาใช้ในการศึกษาหาพื้นที่การเกิดดินถล่ม มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการทำนายการเกิดดินถล่มซึ่งมีแนวโน้มในการทำนายที่ถูกต้อง สำหรับการทำแผนที่ความไวต่อการเกิดดินถล่มและยังสามารถบอกความเสียหายจากการเกิดดินถล่มได้โดยใช้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มมาคำนวณ (Chena, 2016)

**4. วิธีดำเนินการวิจัย**

4.1 พื้นที่ศึกษา

อำเภอด่านซ้ายมีอาณาเขตทิศเหนือติดต่อกับแขวงไซยะบูลี (ประเทศลาว) ทิศตะวันออกติดต่อกับอำเภอภูเรือ อำเภอวังสะพุงและอำเภอภูหลวง ทิศใต้ติดต่อกับอำเภอหล่มเก่า อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก ทิศตะวันตกติดต่อกับอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก และอำเภอ นาแห้ว มีพื้นที่ประกอบด้วยภูเขาสลับซับซ้อน มีที่ระหว่างหุบเขาบางแห่งเป็นที่ราบสูงลุ่มๆดอนๆ โดยเฉพาะที่ตั้งอำเภอมีภูเขาขนาบอยู่ทั้งสามด้าน คือด้านทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก มีที่ราบแคบๆ ยาวไปทางทิศเหนือ ซึ่งมีเทือกเขาอยู่ทั้งสองข้าง พื้นที่ทางทิศตะวันออก ทิศใต้และทิศตะวันตก มีภูเขาสูงมาก ภูเขาส่วนมากเป็นภูเขาดินและภูเขาทราย เฉลี่ยมีพื้นที่ราบประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด ระหว่าง หุบเขามีที่ราบสำหรับทำนา ส่วนตามเชิงเขาเป็นที่ราบและที่ลาดเหมาะสำหรับทำไร่ ปลูกพืชต่างๆ เช่นข้าวโพด ถั่วลิสง ถั่วแดง ฝ้าย ฯลฯ และปลูกพืชยืนต้น เช่นมะม่วง ลำไย มะขาม เป็นต้น พื้นดินเป็นดินร่วนและดินปนทราย ตามภูเขามีป่าเบญจพรรณอยู่ทั่วไป



Landslide Scar

**รูปที่ 1** พื้นที่ศึกษาอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

**Objective 1**

ตำบลวังยาว

Data Preprocessing

ความสูง

ASTET GDEM

Hotspot Analysis

หน้ารับน้ำฝน

ความลาดชัน

Spatial Join

ความโค้งเว้าของพื้นที่

Grid(unit of analysis)

แผนที่ธรณีวิทยา

Data Preprocessing

ชนิดหิน

แผนที่ภูมิประเทศ

Feature Selection

(correlation Matrix)

ระยะห่างจากทางน้ำ

ระยะห่างจากถนน

ระยะห่างจากรอยเลื่อน

Dataset of model Training By

- Support vector machines (SVM)

- Random forest (RF)

- Naïve Bayes (NB)

Dataset for Test อำเภอด่านซ้าย

**Objective 2**

Best Model

**รูปที่ 2** ขั้นตอนการศึกษา

4.2 การรวบรวมข้อมูล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพื้นที่บริเวณ อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ในแต่ละช่วงปี ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข เพื่อการศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่ม จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง **ดังตารางที่ 1**

**ตารางที่ 1** แสดงรายการข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ข้อมูล | ปี | ลักษณะข้อมูล | แหล่งข้อมูล |
| 1. จุดเกิดดินถล่ม | 2555-2560 | Point | สำนักงานธรณีกรมทรัพยากรธรณี |
| 2. แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเลย  - ลักษณะของชั้นหิน | 2556 | Raster | สำนักงานธรณีกรมทรัพยากรธรณี |
| 3. ข้อมูลรอยเลื่อนจังหวัดเลย | 2556 | Line | สำนักงานธรณีกรมทรัพยากรธรณี |
| 4. ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ  - เส้นทางน้ำ  - เส้นทางถนน | 2556 | Line | สำนักงานธรณีกรมทรัพยากรธรณี |
| 5. ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (GDEM) ความละเอียดเชิงพื้นที่ 30x30 เมตร  - ความลาดชัน (Slope)  - หน้ารับน้ำฝน (Aspect)  - ความโค้งของพื้นที่ (Curvature)  - ความสูง (Relief) | 2556 | Raster | <https://earthdata.nasa.gov/> |

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 รวบรวมข้อมูลปัจจัยที่เป็นตัวการทำให้เกิดดินถล่ม โดยสิ่งที่ต้องพิจารณาคือข้อมูลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต้องมีความครอบคุลมทั้งพื้นที่ศึกษา สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้ปัจจัยที่เป็นตัวการทำให้ เกิดดินถล่มทั้งสิ้น 9 ปัจจัย ได้แก่

**ความลาดชัน (Slope)** เป็นตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์โดยเมื่อมีความลาดชันเพิ่มขึ้น แรงโน้มถ่วงโลกจะเข้ามามีบทบาท ในการควบคุมทิศทางการไหลของน้ำและวัตถุต่างๆ (Ramesh and Anbazhagan, 2015) พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงมีโอกาสที่จะเกิดดินได้ง่ายกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ มีผลโดยตรงต่อระดับการเกิดดินถล่ม ทั้งนี้ความลาดชันของภูมิประเทศในพื้นที่สามารถคำนวณได้จากข้อมูลความสูงของภูมิประเทศ (สุภัทรา, 2560)

**หน้ารับน้ำฝน (Aspect)** คือ ทิศทางของหน้าความลาดชัน สามารถบ่งบอกถึงโครงสร้างของชั้นหินและเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และอุณหภูมิ ดังนั้นหน้ารับน้ำฝนจึงเป็นหนึ่งในสาเหตุที่อาจ ทำให้เกิดดินถล่ม (Ramesh, 2015)

**ความสูง (Elevation)** คือ ลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่ เป็นตัวการหนึ่งที่อาจทำให้เกิดดินถล่ม โดยทั่วไปแล้วพื้นที่ที่มีความสูงมากย่อมมีโอกาส เกิดดินถล่มได้มากกว่าพื้นที่ที่มีความสูงน้อยและดินถล่ม มีโอกาสที่จะเกิดอยู่ในช่วงความสูงที่ค่อนข้างแน่นอน (Cevik, 2003)

**ความโค้ง (Curvature)** คือ เส้นที่เกิดจากการตัดกันระหว่างพื้นผิวกับระนาบแบบสุ่ม (Ramesh, 2015) ซึ่งมีผลกับความเร่งและการชะลอตัวของวัตถุที่ไหลบนพื้นผิว เชื่อมโยงไปถึงกระบวนการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Mass movement) หรือกระบวนการผุพัง (Erosion processes) (Kumar, 2015) จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะทางลาดของลักษณะภูมิประเทศและการไหลได้ โดยทั่วไปแล้วความโค้งของพื้นที่สามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะ คือ โค้งนูน (Convex) โค้งเว้า (Concave) และ เส้นตรงหรือพื้นที่ราบ (Flat)

**ชนิดหิน** ข้อมูลธรณีวิทยามีความจำเป็นอย่างมาก เพราะจะทำให้ทราบถึงลักษณะของ การลำดับชั้นหิน ชนิดหิน และคุณสมบัติของหิน ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม โดยระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจะมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะทางธรณีวิทยาที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากความแตกต่างกันของลักษณะหิน เช่น ความแข็งแรง (Strength) ความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) หรือการผุพัง (Weathering) เป็นต้น (Fell, 2008) โดยหินแต่ละชนิดเวลาผุผังจะมีความหนาของดินที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากชั้นหินแต่ละชนิดมีอัตราการผุพังไม่เท่ากัน หินต่างชนิดกันจะมีอัตราการผุพังต่างกัน เช่น หินแกรนิตมีอัตราการผุพังสูง หินภูเขาไฟมีอัตราการผุพังสูงใกล้เคียงกับหินแกรนิต หินดินดาน – หินโคลน เมื่อผุพังจะให้ชั้นดินเป็นดินเหนียวปนทราย และมีความหนาน้อยกว่าหินแกรนิต

**ระยะห่างจากทางน้ำ** ทางน้ำเป็นปัจจัยในการทำให้เกิดดินถล่ม โดยเฉพาะในพื้นที่ ที่เป็นภูเขา ไหล่เขามักจะมีการผุพังและถูกพัดพาลงมาตามทางน้ำ อีกทั้งการที่ชั้นหินหรือดินอิ่มตัวด้วยน้ำก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดดินถล่มได้เช่นเดียวกัน

**ระยะห่างจากถนน** ถนนก็เป็นหนึ่งในตัวการที่สามารถทำให้เกิดดินถล่มได้ ถ้าหากมีการสร้างถนนตัดไหล่เขา ทำให้พื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงความชันหรือพื้นที่สัมผัสอากาศมากขึ้น ก็เป็นตัวเร่งหนึ่งที่ทำให้ชั้นหินหรือดินบริเวณนั้นมีการผุพังมากขึ้น และเมื่อมีปัจจัยต่างๆ เข้ามากระตุ้นก็อาจทำให้เกิดดินถล่มได้ง่ายขึ้น

 **ระยะห่างจากรอยเลื่อน** เป็นปัจจัยส่งผลกับเสถียรภาพของชั้นหินหรือดินที่แสดงถึงอัตราการผุพังและอาจเป็นตัวเร่งให้เกิดดินถล่ม โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้กับรอยเลื่อนที่มีพลัง

**รูปที่ 3** แผนที่เฉพาะปัจจัย (a)Slope, (b)Aspect, (c)Elevation, (d)Profile curva, (e)Plan curva, (f)Lithology, (g)Distance from road, (h)Distance from stream, (i)Distance from fault

4.3.2 สร้างแผนที่แต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบตารางกริดขนาด 30x30 เมตร ด้วยโปรแกรม ArcGis รวมทั้งแปลงข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มให้อยู่ในรูปแบบ Excel file เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมในการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงดินถล่มในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

4.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มทั้งหมด 9 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน หน้ารับน้ำฝน ความสูงของภูมิประเทศ ความโค้งของภูมิประเทศ ความเว้าของภูมิประเทศ ชนิดหิน ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากแม่น้ำและระยะห่างจากรอยเลื่อน มาสร้างแบบจำลอง Logistic Regression Analysis โดยใช้โปรแกรม RStudio เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่ม

4.3.4 ประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดยดูจากค่า R-squared หรือ (R2) โดยค่า R2 มีค่าระหว่าง 0.00 - 1.00 หากใกล้เคียง 1.00 แสดงว่าแบบจำลองมีความถูกต้องสูงมาก

4.3.5 นำปัจจัยที่สัมพันธ์ต่อการเกิดดินถล่มมาวิเคราะห์แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสม ในการคาดการณ์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย จากแบบจำลองซัพพอร์ท เวกเตอร์แมชชีน(Support Vector Machines, SVM) แบบจำลองนาอีฟเบย์(Naïve Bayes,NB) และแบบจำลองแรนดอมฟอเรส (Random Forest, RF)

**5. ผลการวิจัย**

5.1 วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดดินถล่ม ในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

จากข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มทั้งหมด 9 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน หน้ารับน้ำฝน ความสูงของภูมิประเทศ ความโค้งของภูมิประเทศ ความเว้าของภูมิประเทศ ชนิดหิน ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากแม่น้ำและระยะห่างจากรอยเลื่อน พบว่าปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดดินถล่มได้แก่ 4 ปัจจัย คือ ความลาดชัน ชนิดหิน ระยะห่างจากทางน้ำและระยะห่างจากรอยเลื่อน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ อยู่ที่ 0.67 แล้วนำไปวิเคราะห์แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมในการคาดการณ์หาพื้นที่เสี่ยง ต่อการเกิดดินถล่ม

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Environmental factors | Estimate | Std.Error | t value | Pr(>|t|) |
| (Intercept) | 0.204 | 0.053 | 3.843 | 0.00148\*\*\* |
| slope | 0.0347 | 0.00151 | 23.003 | 2e-16\*\*\* |
| Distance from fault | -0.0000089 | 0.00000317 | -2.806 | 0.005341\*\* |
| Distance from stream | 0.0000784 | 0.0000245 | 3.2 | 0.001516\*\* |
| Lithology | 0.00605 | -0.00605 | -2.499 | 0.012980\* |

**ตารางที่ 2** ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดดินถล่มโดยแบบจำลอง Logistic Regression

5.2 วิเคราะห์แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมในการคาดการณ์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิด ดินถล่มในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

นำปัจจัยที่ได้จากการหาความสัมพันธ์สมการถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) มาวิเคราะห์ หาแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองนาอีฟเบย์(NB) ,ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน(SVM) และแรนดอมฟอเรส(RF) ให้ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 57.37% 78.20% และ 79.16% ตามลำดับ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Step | Model |  | AIC |
| NB | Y~slope+fault+stream+Lithology |  | 57.37 |
| SVM | Y~slope+fault+stream+Lithology |  | 78.20 |
| RF | Y~slope+fault+stream+Lithology |  | 79.16 |

**ตารางที่ 3** แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมในการคาดการณ์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม

(a)

(b)

(c)

**รูปที่ 4** กราฟแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมในการคาดการณ์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม

1. Naïve Bayes Models , (b) Support Vector Machine, (c) Random Forest

**6. อภิปรายผล**

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดดินถล่มและวิเคราะห์แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสม ในการคาดการณ์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด คือ 1.ความลาดชัน เมื่อมีความลาดชันเพิ่มขึ้น แรงโน้มถ่วงโลกจะเข้ามามีบทบาทในการควบคุมการไหลของน้ำ พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงมีโอกาสที่จะเกิดดินถล่มได้ง่ายกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำซึ่งมีผลโดยตรงต่อระดับการเกิดดินถล่ม 2.ชนิดหิน เพราะความแตกต่างกันของลักษณะหิน เช่น ความแข็ง ความสามารถในการซึมผ่านหรือการผุพัง ต่างส่งผลทำให้เกิดดินถล่ม เนื่องจากชั้นหินแต่ละชนิดมีอัตตราการผุพังไม่เท่ากัน หินต่างชนิดกันจะมีอัตราการผุพังต่างกัน เช่น หินแกรนิต มีอัตราการผุพังสูง หินภูเขาไฟมีอัตราการผุพังสูงใกล้เคียงกับหินแกรนิต หินโคลน-หินดินดาน เมื่อผุพังจะให้ชั้นดินเป็นดินเหนียวปนทรายและมีความหนาน้อยกว่าหินแกรนิต 3.ระยะห่างจากแม่น้ำ เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่ม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เป็นภูเขา ไหล่เขามักจะมีการผุพังและถูกพัดพาลงมาตามทางน้ำ 4.ระยะห่างจากรอยเลื่อน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลกับเสถียรภาพของชั้นหินหรือชั้นดินที่แสดงถึงอัตราการผุพังและเป็นตัวเร่งให้เกิดดินถล่ม โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้กับ รอยเลื่อนที่มีพลัง และแบบจำลองโมเดลที่ให้ค่าความแม่นยำมากที่สุด 79.16% คือ แบบจำลอง แรนดอมฟอเรส (Random Forest, RF)

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดดินถล่ม ในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย โดยใช้แบบจำลอง Multiple Logistic Regression พบว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมที่คำนวณค่า R2 ได้ 0.67 ถือว่ายอมรับได้ และการวิเคราะห์แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมในการคาดการณ์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม พบว่าแบบจำลองนาอีฟเบย์(NB) ,ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน(SVM) และแรนดอมฟอเรส(RF) ให้ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 57.37% 78.20% และ 79.16% ตามลำดับ ทำให้แบบจำลองมีความเหมาะสมมากกว่าการศึกษาของ ภาณุวัสน์ เขียวสลับ (2558) ที่ใช้เทคนิคลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP) คำนวณค่าความถูกต้อง (AUC) ได้ 72.59% ที่ถือว่ายอมรับได้

**7. ข้อเสนอแนะ**

การวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลในแมชชีนเลิร์นนิ่งต่อการเกิดดินถล่มยังมีอัลกอริทึมอื่นที่ใช้ในการทำนาย หากผู้ที่สนใจศึกษาพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเรื่องนี้ควรศึกษาในด้านการวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลในแมชชีนเลิร์นนิ่งอื่นๆ เช่น แบบจำลองเบย์เซียนเน็ตเวิร์ค (Bayesian network) , โลจิสติกส์รีเกรสชั่น (Logistic Regression) , ฟีชเชอลีเนียดิสคริมิแนนต์อะนาไลซิส (Fisher Linear Discriminant Analysis) เพื่อวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม

**กิตติกรรมประกาศ**

บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจากคณาจารย์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์มรกต วรชัยรุ่งเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัยที่ได้สละเวลาอันมีค่า แก่คณะผู้วิจัย เพื่อให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่ เป็นอย่างยิ่ง จนงานวิจัยฉบับนี้ได้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดีคณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณกรมทรัพยากรธรณี สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและพิบัติภัยและกรมพัฒนาที่ดิน ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

บทความเล่มนี้คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

**เอกสารอ้างอิง**

ไทยรัฐ. (2019). **ข่าวดินถล่ม,** สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2562, จาก <http://www.thairath.co.th>

ภานุวัฒน์ เขียวสลับ. (2015). **การประยุกต์ใช้เทคนิคกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการเปรียบเทียบพื้นที่อ่อนไหว ต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่สรอย จ.แพร่ และลุ่มน้ำคลองท่าทน จ.นครศรีธรรมราช*.*** วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุเพชร จิรขจรกุล. (2553). **ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อการประเมิณพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่มในเขตอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย*.*** มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุภัทรา ผมทอง และดวงเดือน อัศวสุธีรกุล. (2560). **การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยจากดินถล่ม ในจังหวัดเพชรบูรณ**์**.** วารสารเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สำนักงานธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณีวิทยา. (2560). **การวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มของอุทยานธรณีสตูลโดยวิธีอัตราส่วนความถี่***.*

Cevik. (2003). **GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline. Hendek (Turkey)**. Environmental Geology.

Chena. (2017). **A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility.** CATENA.

Fall. (2008). **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning**. Engineering Geology.

Kumar. (2015). **Landslide susceptibility zonation in part of Tehri reservoir region using frequency ratio, fuzzy logic and GIS**. Earth System Science.

Pham. (2016). **A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment:k A acse study of Uttarakhand area (Indai)**. Environmental Modelling & Software.

Ramesh. (2015). **Landslide susceptibility mapping along Kolli hills Ghat road section (India) using frequency ratio**. Environmental Earth Sciences.

wang. (2019). **Comparison of convolutional neural networks for landslide susceptibility mapping in Yanshan County, China**. Retrieved from Science Direct.