

การตรวจหาปริมาณจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยกระบวนการเรียนรู้โดยเครื่อง ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย

Gypsum Detection from satellite image using Remote Sensing with Machine Learning in Nakhon Sawan Province, Thailand

มนรดา ร่องวัง^{1,*} ธงทิศ ฉายากุล² ชัยพร กิจประชา³ และ สิริวิษฐ์ แก้วผลึก⁴

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

⁴ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: rw.monrada@gmail.com

บทคัดย่อ

การระบุพื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่โดยใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลสามารถช่วยลดเวลาในการสำรวจ เพิ่มความแม่นยำในการจำแนกแหล่งยิปซัม โดยเฉพาะแหล่งแร่ยิปซัมซึ่งเป็นแร่สำคัญทางอุตสาหกรรมที่มีความต้องการสูง โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (remote sensing) ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) สำหรับการตรวจหาแร่ยิปซัมในพื้นที่อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งผลิตยิปซัมที่สำคัญโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ASTER ร่วมกับเทคนิคการสำรวจหลายช่วงคลื่น (Multispectral Remote Sensing) ด้วยวิธีอัตราส่วนแบนด์ และเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องด้วยอัลกอริทึม XGboost เพื่อจำแนกพื้นที่ที่มีโอกาสพบแร่ยิปซัม และประเมินความถูกต้องด้วยการตรวจสอบค่าทางสถิติแบบตาราง (error matrix) ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสามารถจำแนกพื้นที่แหล่งแร่ยิปซัมในพื้นที่ประทานบัตรเหมืองได้ถูกต้องด้วยค่าความถูกต้องสูงถึงร้อยละ 97 โดยงานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาการสำรวจและการจัดการทรัพยากรแร่ยิปซัมในประเทศไทยได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ยิปซัม, การสำรวจระยะไกล, การสำรวจหลายช่วงคลื่น, การเรียนรู้โดยเครื่อง, XGboost

Abstract

Remote sensing is a valuable tool for reducing the cost and time associated with mineral exploration, particularly in the identification of potential gypsum deposits, which are high-demand industrial minerals. This study integrates remote sensing techniques with machine learning to delineate prospective gypsum deposit areas in Nong Bua, Nakhon Sawan Province, Thailand—an important source of gypsum. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data were processed using the band ratio technique and

a supervised classification approach, specifically the Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithm, to enhance the classification of gypsum-bearing regions. The accuracy of the classification was evaluated using an error matrix, resulting in a good classification of gypsum in the mining area, yielding a high overall accuracy of 97%. This research can significantly improve the efficiency of mineral exploration and resource management of gypsum in the future.

Keywords: Gypsum, Remote Sensing, Multispectral Remote Sensing, Machine Learning, XGboost

1. คำนำ

ยิปซัมเป็นแร่ที่พบได้ในธรรมชาติมีลักษณะเป็นผลึกสีขาวถึงสีเทาแผ่นบางๆหรือเป็นก้อนแข็ง [1] ซึ่งมีความสำคัญในหลายอุตสาหกรรมทำให้เป็นแร่ที่มีความต้องการสูงและมีความสำคัญในเศรษฐกิจและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ปัจจุบันยิปซัมมีความสำคัญต่อประเทศไทยโดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้างและการเกษตร เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ ทำปูนยิปซัม และใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยเฉพาะดินที่มีปัญหาเรื่องความเป็นกรดหรือดินที่เกลือสูง [2] จังหวัดนครสวรรค์ อำเภอหนองบัว เป็นแหล่งศักยภาพที่มีการสำรวจและผลิตยิปซัมที่สำคัญเพื่อป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมแร่ยิปซัม ปัจจุบันการหาแร่ยิปซัมใช้การเดินสำรวจซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูงและใช้เวลานาน ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลด้วยเทคนิคการสำรวจหลายช่วงคลื่น (Multispectral Remote Sensing) สามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการสำรวจแร่ยิปซัมได้

การระบุพื้นที่ที่มีโอกาสพบแหล่งแร่ด้วยเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลและการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มีศักยภาพสูงในการวิเคราะห์และจำแนกแร่จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาไม่แพร่หลายมากนักในประเทศไทย เนื่องจากการพัฒนาของเทคโนโลยีและการประมวลผลทำให้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นรวมถึงการสำรวจแหล่งแร่ด้วยอัลกอริทึมที่หลากหลาย

เช่น การสำรวจแหล่งแร่ด้วยอัลกอริทึม random forest, support vector machine, xgboost, convolutional neural network, และ artificial neural network (Mahboob et al., 2024; Bigdeli et al., 2024) [3, 4]

ในการสำรวจแหล่งแร่ด้วยข้อมูลการสำรวจระยะไกลมีการใช้วิธีต่างๆในหลายกรณีศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงการใช้เทคนิคที่คล้ายคลึงกันในแต่ละการศึกษา ตัวอย่างเช่น วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) และ Minimum noise fraction (MNF) ถูกนำมาใช้ในหลายการศึกษาเพื่อลดอัตราส่วนการรบกวนของข้อมูล เช่น ในการสำรวจโซนกอสแซน (Gossan Zone) ในเขตหินฐานทวีปอาหรับตะวันออกของซาอุดีอาระเบีย [5] และการสำรวจแร่ทองแดงในพื้นที่ Wadi Ham ภูเขาทางเหนือตอนของโอมาน [6] นอกจากนี้ ยังมีการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบสัดส่วนแบนด์ Band Ratio (BR) ซึ่งช่วยในการเพิ่มความชัดเจนของข้อมูลเปกตรัม เช่น ในการสำรวจแร่ทองแดงและแหล่งยับยั้งที่ Midyan ทางตะวันตกเฉียงเหนือของซาอุดีอาระเบีย [7]

ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียมจากโครงการ ASTER โดยใช้เทคนิคอัตราส่วนแบนด์ร่วมกับกระบวนการการเรียนรู้ด้วยเครื่องด้วยอัลกอริทึม xgboost ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ในการสำรวจแหล่งแร่ในอดีตมีศักยภาพสูง ในพื้นที่อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการศึกษา

2. ข้อมูลและวิธีการดำเนินงาน

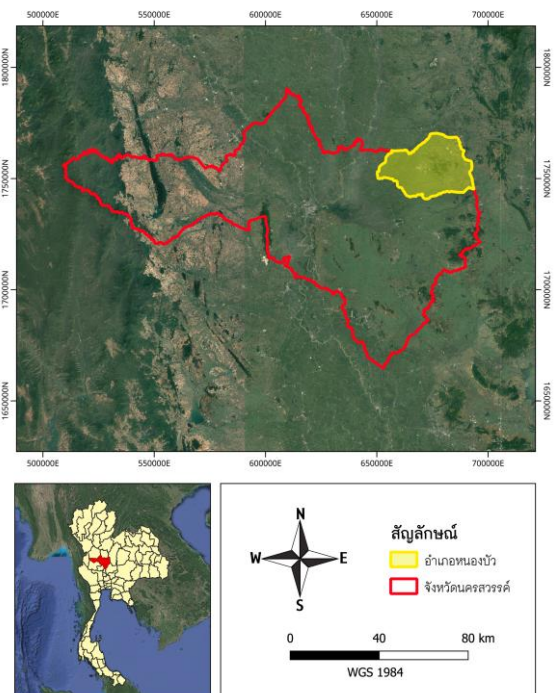
2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในอำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ ขนาดพื้นที่ 821.9 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง (Centel Plain) มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำคิดเป็นร้อยละ 75 ของพื้นที่ ซึ่งมีแม่น้ำสำคัญ 3 สาย ได้แก่ แม่น้ำปิง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน ไหลมาบรรจบกัน บริเวณตะวันออกของจังหวัดพบภูมิประเทศแบบลอนลูกคลื่นยกตัวขึ้นสูงระดับน้ำทะเลปานกลาง ส่วนทางตะวันออกของจังหวัดมีลักษณะเป็นภูเขาสลับป่าทึบ [8] ดังรูปที่ 1

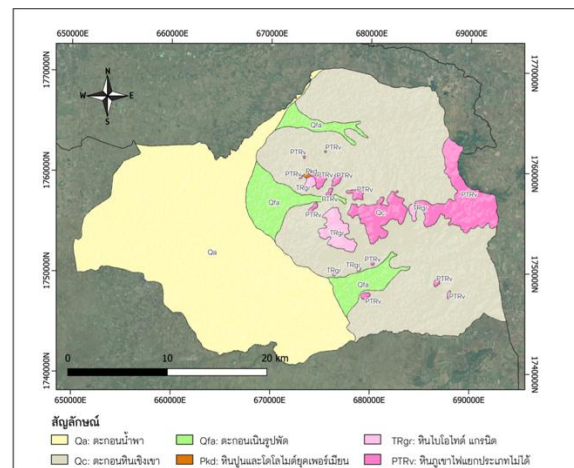
แร่ยิปซัมในอำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ เกิดจากกระบวนการสะสมตัวของแร่ในแอ่งตะกอนโบราณที่เคยเป็นแหล่งน้ำทะเลเค็มในอดีตเมื่อเวลาผ่านไป น้ำทะเลในแอ่งระเหยออกไป ทำให้เกิดการตกตะกอนของแร่เกลือระเหย รวมถึงยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และแอนไฮไดรต์ (CaSO_4) ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มซัลเฟต (Sulfate mineral group) การสะสมตัวนี้เกิดขึ้นเป็นชั้นหนาใกล้ใต้พื้นดิน ซึ่งต่อมาการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา เช่น การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ทำให้ชั้นแอนไฮไดรต์ถูกยกขึ้นใกล้ผิวดินและสัมผัสกับน้ำใต้ดิน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้แอนไฮไดรต์ดูดน้ำและเปลี่ยนเป็นยิปซัม กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน จนทำให้เกิดชั้นยิปซัมหนาในพื้นที่ศึกษา [2]

ลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดนครสวรรค์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ตะกอนร่วน หินตะกอน หินภูเขาไฟและหินแกรนิต โดยพื้นที่ทั้งหมดรองรับด้วยหินแข็งที่มีอายุตั้งแต่มากกว่า 570 ล้านปีจนถึงตะกอนปัจจุบัน (รูปที่ 2)

แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาในอำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ (ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth Pro ปี 2024)

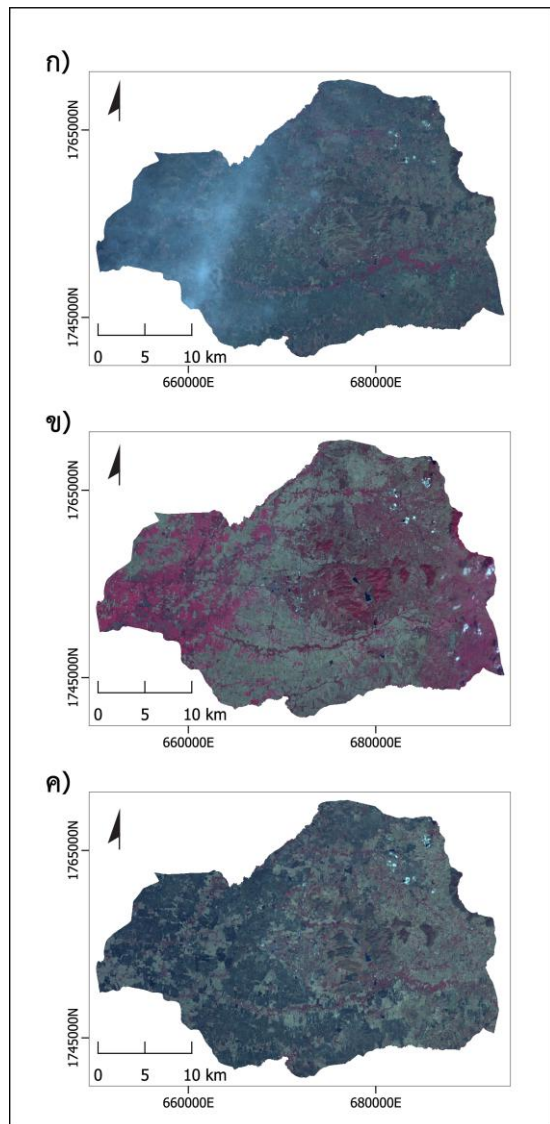


รูปที่ 2 แผนที่ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ [6]

2.2 ข้อมูลที่ใช้

ใช้ข้อมูลจากโครงการ ASTER เพื่อประมวลผลเนื่องจากเป็นข้อมูลที่ให้บริการได้โดยไม่ค่าใช้จ่าย โดยเริ่มต้นโครงการในปี ค.ศ. 1999 มีความละเอียดสูงสุดที่ 15 เมตร ในช่วงคลื่น Visible near Infrared (VNIR) และความละเอียดต่ำสุดที่ 90 เมตร ในช่วง Thermal Infrared (TIR) มีจุดเด่นที่ความละเอียดช่วงคลื่นในช่วง Short Wave Infrared (SWIR) สูงทำให้

สามารถจำแนกข้อมูลวิทยาหินและแร่ได้ดี อีกทั้งมีการใช้เพื่อสำรวจทางธรณีวิทยาอย่างแพร่หลาย ข้อมูลโครงการสำรวจดาวเทียม ASTER เข้าถึงได้จากจากชุดข้อมูลของ Google Earth Engine ด้วยชื่อข้อมูล ASTER L1T Radiance ซึ่งมีการปรับแก้แบบบอร์โธ และปรับแก้เรดิโอเมตริก และเนื่องจากข้อมูลในช่วงคลื่น SWIR มีความสมบูรณ์ที่สุดในช่วงก่อนปี 2008 ดังนั้นภาพที่ถูกนำมาใช้จึงถูกเลือกจากช่วงปี 2000 – 2007 โดยเลือกภาพที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด และมีการปกคลุมของเมฆน้อย ซึ่งได้ภาพที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้จากปี 2002, 2004, และ 2007 (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ภาพถ่ายดาวเทียมจากโครงการ ASTER ภาพ ก) ปี 2002
ภาพ ข) ปี 2004 และ ภาพ ค) ปี 2007

2.3 วิธีการดำเนินงาน

2.2.1 ลักษณะการตอบสนองเชิงสเปกตรัม

เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลชนิดหลายช่วงคลื่นถูกนำมาใช้สำรวจแหล่งแร่อย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการสำรวจโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่

เกี่ยวข้อง หรือพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของหินเดิมเนื่องจากการเกิดแร่ [7] อย่างไรก็ตามในการสำรวจแหล่งแร่ต่างๆ ความเข้าใจในคุณสมบัติเชิงสเปกตรัมของแร่ซึ่งมีการตอบสนองต่อช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ข้อมูลของดาวเทียม ASTER และสัญลักษณ์ของแบนด์

หมายเลขช่วงคลื่น	แถบช่วงคลื่น (Wavelength Bandwidth)	สัญลักษณ์
1	520-600 nm	B1
2	630-690 nm	B2
3N	780-860 nm	B3
3B	780-860 nm	
4	1600-1700 nm	B4
5	2145-2185 nm	B5
6	2185-2225 nm	B6
7	2235-2285 nm	B7
8	2295-2365 nm	B8
9	2360-2430 nm	B9
10	8125-8475 nm	B10
11	8475-8825 nm	B11
12	8925-9275 nm	B12
13	10250-10950 nm	B13
14	10950-11650 nm	B14

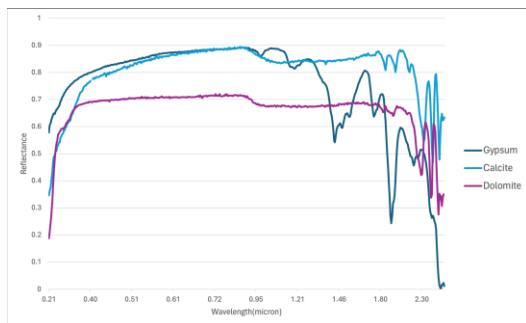
ช่วงแสงอินฟราเรดคลื่นสั้นได้แก่ 1.3-3.0 ไมโครเมตร (SWIR) มีความสำคัญในการศึกษาแร่กลุ่มไฮดรอกซิล (OH) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ซึ่งพบในเปลือกโลกจำนวนมาก โดยแร่กลุ่มไฮดรอกซิลมีการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง 2.74-2.77 ไมโครเมตร และ 1.44 ไมโครเมตรซึ่งเป็น overtone แร่กลุ่มคาร์บอเนตมีการดูดกลืนในช่วงคลื่น 1.90, 2.35 และ 2.55 ไมโครเมตร และแร่อีกหลายกลุ่ม เช่น กลุ่มซิลิเกต กลุ่มคาร์บอเนต กลุ่มออกไซด์ กลุ่มฟอสเฟต กลุ่มไนเตรต กลุ่มไนไตรต์ และกลุ่มไฮดรอกซิล โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่กลุ่มซิลิเกตซึ่งรวมไปถึงแร่ยิปซัม มีการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน Thermal Infrared (TIR) แร่กลุ่มซิลิเกตมีลักษณะการดูดซับคลื่นในช่วง 9 และ 16 ไมโครเมตร [9]

แร่ในกลุ่มแคลเซียมซิลิเกตที่เกิดจากการระเหย (evaporite minerals) ได้แก่ แอนไฮไดรต์ และยิปซัม (รูปที่ 4) มีลักษณะเด่นคือการดูดกลืนคลื่นในช่วง 4.2 ถึง 5.0 ไมโครเมตร [10] โดยยิปซัมจะมีการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ 1.46, 1.55, 1.75, 1.98 และ 2.30 ไมโครเมตร ซึ่งแตกต่างจากแอนไฮไดรต์ เนื่องจากการสั่นของโมเลกุลน้ำในยิปซัม [11]

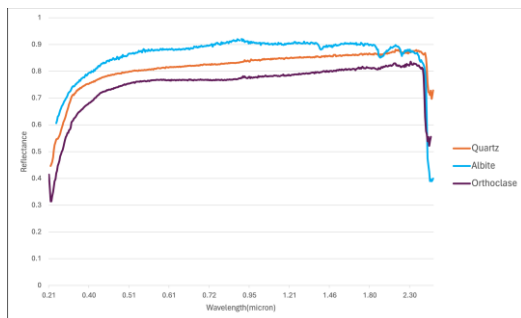
นอกจากนี้ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนพบว่าแร่กลุ่มแคลเซียมซิลิเกตมีการแผ่รังสีในช่วงคลื่น 10.50-12.50, 10.00, 5.00-7.00, และ

4.00-5.00 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามความละเอียดที่ต่ำในช่วงคลื่น Thermal Infrared (TIR) ทำให้การสำรวจไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ในขณะที่เครื่องประกอบหินอัคนีมีการดูดกลืนคลื่นในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ และอินฟราเรดคลื่นสั้นที่ต่ำ (รูปที่ 5)

นอกจากนี้แร่ดิน (clay minerals) ได้แก่ เคโอลิไนต์ (Kaolinite), มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) และ มัสโคไวต์ (Muscovite) มีลักษณะการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงอินฟราเรดคลื่นสั้นที่แตกต่างจากยิปซัมอย่างชัดเจนโดยเฉพาะการดูดกลืน 1.41 ไมโครเมตร และแอริลโลต์ (Illite) และคลอไรต์ (Chlorite) ที่มีค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและอินฟราเรดที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยยะสำคัญ (รูปที่ 6) ทำให้สามารถจำแนกแร่ยิปซัมออกจากแร่อื่นๆ ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ [9]



รูปที่ 4 ค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแร่ในกลุ่มแร่ที่เกิดจากการระเหย (Evaporite Mineral) [9]

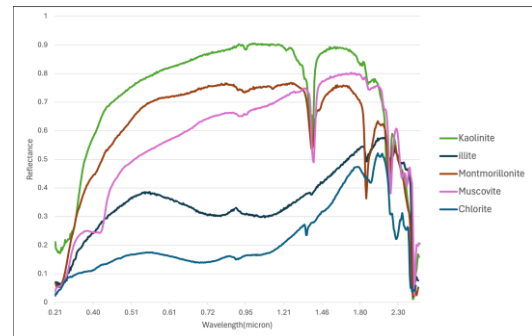


รูปที่ 5 ค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแร่ประกอบหินอัคนี (Igneous Rock) [9]

2.2.1 อัตราส่วนแบนด์ (Band Ratio)

ภาพดาวเทียม ASTER ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายด้วยวิธีการอัตราส่วนแบนด์ (Band ratio) เพื่อให้เห็นความแตกต่างของยิปซัม โดยใช้ประโยชน์จากลักษณะการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง Shortwave Infrared (SWIR) ของยิปซัม คำนวณอัตราส่วนแบนด์อ้างอิงจากการศึกษาที่ใกล้เคียง รวมถึงคำนวณอัตราส่วนแบนด์สำหรับแร่อื่นๆ เพื่อวิเคราะห์ร่วมผลลัพธ์จากการตรวจสอบยิปซัม โดยในงานวิจัยนี้ใช้

อัตราส่วนแบนด์ $(B4*B8)/(B6*B7)$, $(B4*B8)/(B7*B7)$, $[(B3*B8)/(B5*B6)] - (B3/B2)$, $(B10*B12)/(B11*B11)$, และดัชนีพีชพรรณ [9, 10, 11] [12, 13, 14]



รูปที่ 6 ค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแร่ดินเหนียว (Clay Mineral) [9]

2.2.2 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ด้วยอัลกอริทึม XGBoost

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) คือเทคนิคในการพัฒนาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถเรียนรู้จากข้อมูลและปรับปรุงการทำงานโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมเฉพาะให้ทำงาน การเรียนรู้ของเครื่องใช้ข้อมูลที่มีอยู่เพื่อให้เครื่องสามารถทำนายผลลัพธ์หรือทำการตัดสินใจที่แม่นยำยิ่งขึ้นเมื่อได้รับข้อมูลใหม่การเรียนรู้ของเครื่องสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เช่น การจำแนกพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดแร่ยิปซัม โดยการใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมและเซนเซอร์ต่างๆ เมื่อเครื่องเรียนรู้จากข้อมูลเหล่านี้ สามารถทำนายและระบุพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาเหมาะสมกับการเกิดแร่ยิปซัมได้

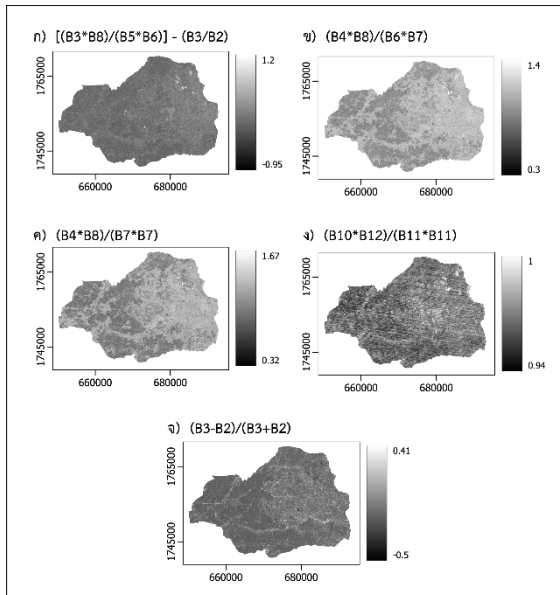
ในงานวิจัยนี้ใช้ XGBoost ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้แบบมีการควบคุม โดยใช้เทคนิคการเสริมการเรียนรู้ของหลายๆ โมเดล (Ensemble learning) การทำงานของอัลกอริทึม XGBoost คือการใช้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) หลายต้น มาเชื่อมโยงกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยเก็บข้อมูล Training Data จากภาพดาวเทียมปี 2002 และ 2004 จากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพด้วย Testing data จากข้อมูลดาวเทียมปี 2007 โมเดล xgboost มีการฝึกฝนโดยใช้ tree booster นอกจากนี้กำหนดให้จำนวนชั้นของต้นไม้ตัดสินใจ (max_depth) เป็น 6 เพื่อป้องกันการ overfitting

3. ผลการศึกษา

3.1 การศึกษาอัตราส่วนแบนด์

จากการศึกษาด้วยเทคนิคอัตราส่วนแบนด์พบว่า ยิปซัมมีค่าที่สูงหลังจากคำนวณด้วยอัตราส่วนแบนด์จากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยผลลัพธ์จากการคำนวณตามงานวิจัย [13] ให้ผลลัพธ์ค่าการสะท้อนยิปซัมที่ต่างจากสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นอย่างชัดเจนโดยมีค่าเฉลี่ยของยิปซัม 1.49 (รูปที่ 7ก)

ในขณะที่อัตราส่วนแบนด์อื่นในช่วงอินฟราเรดคลื่นสั้นมีความต่างระหว่างยิปซัมและสิ่งปกคลุมดินอื่นที่น้อยกว่าในงานวิจัยนี้ [9] โดยมีค่าเฉลี่ยของยิปซัม 1.67 และ 1.70 ดังรูปที่ 7ข และ ค ตามลำดับ ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ยิปซัมมีค่าอัตราส่วนที่สูงสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนโดยมีค่าเฉลี่ย 1.02 อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในด้านความละเอียดเชิงพื้นที่ส่งผลให้อัตราส่วนแบนด์นี้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร



รูปที่ 7 อัตราส่วนแบนด์ (Band Ratio) ปี 2007 แสดงพื้นที่ศักยภาพพบแร่ยิปซัมได้สูง (สีขาว)

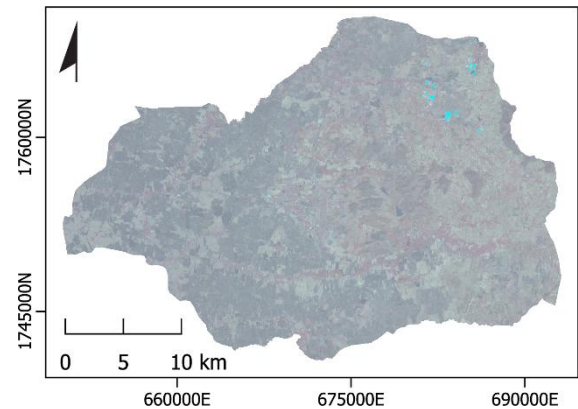
3.2 การจำแนกยิปซัมด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง

ผลลัพธ์จากการจำแนกพื้นที่ที่มีโอกาสพบแร่ยิปซัมด้วยวิธี XGBoost แสดงให้เห็นพื้นที่ที่มียิปซัมในบริเวณพื้นที่ประทานบัตรเหมืองแร่ยิปซัมทางตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่โดยครอบคลุมพื้นที่ 228.27 ตารางกิโลเมตร โดยมีค่าความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 97

4. อภิปรายผล

ผลลัพธ์จากการจำแนกยิปซัม (Classification report) จากภาพถ่ายดาวเทียม โดยตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธี Confusion Matrix โดยตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลที่ใช้จำแนกยิปซัมปี 2007 เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) จากการตรวจหายิปซัมจากภาพถ่ายดาวเทียมโมเดลนี้มีค่าความแม่นยำ (accuracy) สูงถึง 96.76% ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่ามีประสิทธิภาพดีในการจำแนกพื้นที่ที่มียิปซัมและไม่มียิปซัม นอกจากนี้ค่าความถูกต้องของคลาส Non-Gypsum (precision = 1.00, recall = 0.96, F1-score = 0.98) แสดงว่าโมเดลสามารถระบุพื้นที่ที่ไม่มียิปซัมได้อย่างถูกต้องสูง ส่วนคลาส Gypsum (precision = 0.83, recall = 1.00, F1-score = 0.91) แสดงว่าโมเดลสามารถตรวจพบยิปซัมได้

ดี แต่ยังมีข้อผิดพลาดในบางพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ที่มีการเปิดหน้าดิน แต่ขาดข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจึงไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องในบริเวณดังกล่าวได้



รูปที่ 8 การจำแนกพื้นที่ที่มีโอกาสพบยิปซัมด้วยวิธี XGBoost จากภาพถ่ายดาวเทียม ASTER ปี 2007 พื้นที่สีฟ้าแสดงพื้นที่ที่มียิปซัม

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การจำแนกยิปซัมด้วยอัลกอริทึม XGBoost

	Precision	Recall	F1-score	Pixel No.
Non - Gypsum	1	0.96	0.98	727
Gypsum	0.83	1	0.91	136
Accuracy			0.97	863
Macro average	0.91	0.98	0.94	863
Weight average	0.97	0.97	0.97	863
Accuracy	0.97			

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยในอดีต การศึกษานี้ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำมากกว่าการใช้วิธีการวิเคราะห์อัตราส่วนแบนด์ (Band Ratio) อย่างเดียวด้วยอัตราส่วนดังรูป 7ค) ซึ่งมีความแม่นยำ 95.6% และให้ผลลัพธ์ที่มีค่าแม่นยำน้อยกว่าอัตราส่วนแบนด์ในรูป 7ข) คือ 98.5% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาทางตอนใต้ของประเทศอิหร่าน [13]

อย่างไรก็ตามวิธีการในงานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับยิปซัมที่ปรากฏบนผิวดินเท่านั้น การวิจัยในด้านธรณีเคมีหรือธรณีฟิสิกส์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการนี้ได้

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการในการสำรวจพื้นที่ที่มีโอกาสพบแร่ยิปซัมด้วยการประยุกต์เทคนิคการรับรู้ระยะไกลได้แก่ อัตราส่วนแบนด์และการเรียนรู้ของเครื่องด้วยอัลกอริทึม XGBoost ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพด้วยค่า

ความถูกต้องสูงถึงร้อยละ 97 สามารถนำไปประยุกต์กับข้อมูลที่มีความเป็นปัจจุบันร่วมกับการศึกษาทางธรณีวิทยา เพื่อลดต้นทุนในการสำรวจแร่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธงทิศ ฉายากุล อาจารย์ ดร.ชัยพร กิจประชา และ อาจารย์ ดร.สิริวิญญ์ แก้วผลึก ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และชี้แนะแนวทางตลอดการทำวิจัยครั้งนี้ ความรู้และประสบการณ์ที่อาจารย์ทั้งสามท่านได้ถ่ายทอดให้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การศึกษางานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Karni, J., & Karni, E. Y. (1995). Gypsum in construction: origin and properties. *Materials and Structures*, 28(2), pp.92-100.
- [2] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2552). *ประโยชน์ของypsum*. กลุ่มงานเผยแพร่และอำนวยความสะดวก สำนักงานบริหารกลางกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [3] Mahboob, M. A., Celik, T. & Genc, B. (2024). Predictive modelling of mineral prospecting using satellite remote sensing and machine learning algorithms. *Remote Sensing Application: Society and Environment*, 36, 101316.
- [4] Bigdeli, A., Maghsoudi, A. & Ghezelbash, R. (2024). A comparative study of the XGBoost ensemble learning and multilayer perception in mineral prospectivity modelling: a case study of the Torud-Chahshirin belt, NE Iran. *Earth Science Informatics*, 17(1), pp.483-499.
- [5] Gahlan, H., & Ghrefat, H. (2018). Detection of Gossan Zones in Arid Regions Using Landsat 8 OLI Data: Implication for Mineral Exploration in the Eastern Arabian Shield, Saudi Arabia. *Natural Resources Research*, 27(1), pp.109-124.
- [6] Howari, F. M., Ghrefat, H., Nazzal, Y., Galmed, M. A., Abdelghany, O., Fowler, A. R., & Sharma, M. (2020). Delineation of Copper Mineralization Zones at Wadi Ham, Northern Oman Mountains, United Arab Emirates Using Multispectral Landsat 8 (OLI) Data. *Frontiers in Earth Science*, 8.
- [7] Ghrefat, H. A. (2020). Mapping Maqna Gypsum Deposits in the Midyan Area, Northwestern Saudi Arabia, Using ASTER Thermal Data.
- [8] กรมทรัพยากรธรณี (2007). ธรณีวิทยาประเทศไทย. ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี.
- [9] Kolaky, R. F., Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Hoefen, T. M., Pearson, N. C., Wise, R. A., Benzel, W., Lowers, H. A., Driscoll, R. L., & Klein, A. J. (2017). USGS Spectral Library Version 7 [Report] (1035).
- [10] Bishop, J., Lane, M., Dyar, M., King, S., Brown, A. & Swayze, G. (2014). What Lurks in the Martian Rocks and Soil? Investigations of Sulfates, Phosphates, and Perchlorates. Spectral properties of Ca-sulfates: Gypsum, bassanite, and anhydrite. *American Mineralogist*, 99(10), pp. 2105-2115.
- [11] Ghrefat, H., Awawdeh, M., Howari, F., & Al-Rawabdeh, A. (2023). Chapter 12 - Mineral exploration using multispectral and hyperspectral remote sensing data. In N. Stathopoulos, A. Tsatsaris, & K. Kalogeropoulos (Eds.), *Geoinformatics for Geosciences* (pp. 197-222). Elsevier.
- [12] Howari, F. M., Goodell, P. C., & Miyamoto, S. (2002). Spectral Properties of Salt Crusts Formed on Saline Soils. *Journal of Environmental Quality*, 31(5), 1453-1461.
- [13] Shuai, S., Zhang, Z., Lv, X., & Hao, L. (2022). Assessment of new spectral indices and multi-seasonal ASTER data for gypsum mapping. *Carbonates and Evaporites*, 37(2), 34.
- [14] Habibnia, A., Ranjbar, H., & Rahimpour, G. (2022). Gypsum exploration using ASTER data in the Hormozgan province, south of Iran. *Carbonates and Evaporites*, 37(2), 29.
- [15] Khan, A., Faisal, S., Shafique, M., Khan, S., & Bacha, A. S. (2019). ASTER-based remote sensing investigation of gypsum in the Kohat Plateau, north Pakistan. *Carbonates and Evaporites*, 35(1)