

วันที่ส่ง ...../...../.....

วันที่อนุมัติ ...../...../.....

ลงชื่อ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

การวิเคราะห์ดัชนีกรณีแปรสัณฐานตามแนวรอยเลื่อนแสนหวี-น่านตึง, ชายแดนพม่า-จีน

นายเสกสรรค์ ภัทรรธรรมเสรี  
เลขประจำตัวนิสิต 5332733323

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
พุทธศักราช 2556

GEOMORPHIC ANALYSIS ALONG THE HSENWI-NANTING FAULT ZONE,  
MYANMAR-CHINA BORDER

SEKSAN PATTARATUMSEREE

Student ID. 5332733323

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE BACHELOR DEGREE OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2013

## การวิเคราะห์ดัชนีธรณีแปรสัณฐานตามแนวรอยเลื่อนแสนหวี-น่านตึง, ชายแดนพม่า-จีน

นายเสกสรรค์ ภัทรรวมเสรี

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทร: 085-258-0990, e-mail: p.seksan@outlook.com

### บทคัดย่อ

ดัชนีธรณีแปรสัณฐาน เป็นการศึกษากิจกรรมทางธรณีแปรสัณฐานในเชิงปริมาณ โดยใช้ข้อมูลมางโทรสัมผัสในการแปลความหมายเป็นหลัก ซึ่งได้นำมาใช้ในการประเมินความสัมพันธ์ทางธรณีแปรสัณฐานกับลักษณะภูมิประเทศที่เกิดขึ้นในพื้นที่ตามบริเวณแนวรอยเลื่อนแสนหวี-น่านตึง ที่เห็นได้ชัดเจนโดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและแผนที่แสดงความสูงแบบดิจิทัล งานวิจัยนี้เลือกใช้ดัชนีธรณีแปรสัณฐาน 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา, ดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง และดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง

ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ดัชนีความคดโค้งเชิงเขาในบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่า มีแนวรอยเลื่อนที่มีค่าเข้าใกล้ 1 กระจายทั่วไป จึงส่งผลกระทบต่อให้เกิดแผ่นดินไหวได้บ่อยครั้ง ส่วนค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง ได้จากการวิเคราะห์ค่าของพื้นที่แอ่งรับน้ำของแม่น้ำลำดับที่ 6 ซึ่งบ่งบอกลักษณะบริเวณพื้นที่ศึกษา ได้ว่า ทางด้านตะวันออกเป็นแอ่งที่มีกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานอยู่มาก และค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเอียงเทของแอ่งรับน้ำในพื้นที่ศึกษา จะเห็นว่าทางด้านตะวันออกมีแนวโน้มการเอียงเทจากเหนือไปใต้

ดัชนีธรณีแปรสัณฐานที่ได้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นของการศึกษาพฤติกรรมกระบวนการธรณีแปรสัณฐาน จากการศึกษาลักษณะภูมิประเทศโดยรวมเพื่อบอกลักษณะการเปลี่ยนแปลง และผลที่อาจเกิดจากรอยเลื่อนมีพลัง นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาต่อไปได้ในอนาคต

**คำสำคัญ:** ดัชนีธรณีแปรสัณฐาน, ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา, ดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง, ดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง

GEOMORPHIC ANALYSIS ALONG THE HSENWI-NANTING FAULT ZONE,  
MYANMAR-CHINA BORDER

Seksan Pattaratumsee

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Tel: 085-258-0990, e-mail: p.seksan@outlook.com

ABSTRACT

Geomorphic Index is one of the quantitative methods evaluating effectively the tectonic activities related erosional process. This study focuses on the investigation of geomorphic index along the Hsenwi-Nanting fault zone, Myanmar-China border. This is analyzed by remote sensing data, satellite image and digital elevation model. Totally 3 index are recognized in this study including the Mountain front sinuosity Index ( $S_{mf}$ ), Basin asymmetry Index (T), and Basin hypsometric Index (HI).

For  $S_{mf}$  index, the most fault lines in the study areas are close to 1 implying the high tectonic activities. In case of HI Index analyzed from the river basin order 6, the eastern part of the study areas show comparatively high of tectonic activities comparing with the western part. In addition for T Index, most basin tilt in the north-south direction. This tilting of basin quite conform to the previous research work of GPS investigation.

However, the geomorphic index are only preliminary data on study tectonic activity. The study of landscape as a whole to describe the changes and activity in the area caused of active fault. The result from this study can help study area for other exploration on this area.

**Keyword:** Geomorphic Index, Mountain front sinuosity Index, Basin asymmetry Index, Basin hypsometric Index

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ให้ความรู้ ตอบข้อสงสัยและให้คำแนะนำทุกอย่างตลอดการทำวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยอบรมให้ความรู้ ประบวนการณ์ คำแนะนำและคอยตักเตือน ขอขอบคุณพี่บุคลากรภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยช่วยเหลือเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อน Geo 54 และพ่อแม่ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูปภาพ	ฌ
บทที่ 1: บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 ทฤษฎี	4
1.4 วัตถุประสงค์	8
1.5 พื้นที่ศึกษา	9
1.6 ขอบเขตงานวิจัย	9
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2: ระเบียบวิธีการวิจัย	10
2.1 ระเบียบวิธีการวิจัย	10
2.2 การรวบรวมข้อมูล	10
2.3 ระเบียบวิธีวิจัยค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา	11
2.4 ระเบียบวิธีวิจัยค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง	14
2.5 ระเบียบวิธีวิจัยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง	16
บทที่ 3: ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	18
3.1 ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา	18
3.2 ดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง	19
3.3 ดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง	27
บทที่ 4: อภิปรายผลการวิจัย	40
4.1 อภิปรายผลการวิจัยค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา	40
4.2 อภิปรายผลการวิจัยค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง	41
4.3 อภิปรายผลการวิจัยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง	42

	หน้า
บทที่ 5: สรุปผลการวิจัย	44
5.1 สรุปผลการวิจัยค่าดัชนีความคงเชิงเขา	44
5.2 สรุปผลการวิจัยค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง	45
5.3 สรุปผลการวิจัยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	49



## สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูป 1.1	DEM ที่ซ้อนทับโดยภาพถ่ายทางอากาศ แสดงการศึกษาโดยวิธี $S_{mf}$ (ซ้าย) และ SL (ขวา)	2
รูป 1.2	แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาของ Yenicaga Basin ประเทศตุรกี	3
รูป 1.3	การวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาโดยใช้ Mountain front sinuosity Index ( $S_{mf}$ )	3
รูป 1.4	การวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาโดยใช้ Stream length gradient Index (SL)	4
รูป 1.5	แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $L_{mf}$ และ $L_s$ ในการคำนวณค่า $S_{mf}$ (Bull และ McFadden, 1977)	5
รูป 1.6	แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $D_a$ และ $D_d$ ในการคำนวณค่า T (Cox, 1994)	7
รูป 1.7	แสดงแนวคิดการตรวจวัดตัวแปรต่างๆ เพื่อการคำนวณดัชนีความสูงสัมบูรณ์ ของแอ่ง (Shahzad, 2011)	8
รูป 1.8	แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาตามแนวรอยเลื่อนสแนร์-นานดิง, ชายแดนพม่า-จีน	9
รูป 2.1	ลักษณะความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล (Digital Elevator Model, DEM) ของพื้นที่ศึกษา	11
รูป 2.2	แผนที่แสดงลักษณะโครงสร้างเชิงเส้น (Lineament Structure) ของพื้นที่ศึกษา	12
รูป 2.3	แผนที่แสดงลักษณะโครงสร้างเชิงเส้น (Lineament Structure) ของพื้นที่ศึกษา ที่ผ่านการพิจารณาแล้ว (147 เส้น)	12
รูป 2.4	แผนที่แสดงลักษณะโครงสร้างเชิงเส้น (Lineament Structure) เทียบกับเส้นความยาวของเชิงเขาที่วัดได้จริง ( $L_s$ )	13
รูป 2.5	รูปแสดงการสร้างลักษณะพื้นที่แอ่งรองรับน้ำ โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ฟังก์ชัน TecDEM กำหนดให้ใช้แม่น้ำอันดับ 6 (Strahler Order 6)	14
รูป 2.6	แผนที่แสดงแอ่งรองรับน้ำแม่น้ำอันดับ 6 (Strahler Order 6) ทั้งหมดในพื้นที่	15
รูป 2.7	แผนที่แสดงแอ่งรองรับน้ำแม่น้ำอันดับ 6 (Strahler Order 6) ที่พิจารณาแล้ว	15
รูป 2.8	ตัวอย่างแอ่งรับน้ำที่ 26 โดยการใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ฟังก์ชัน TecDEM ในการหาค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง	16

รูป 2.9	ตัวอย่างแอ่งรับน้ำที่ 25 โดยการใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ฟังก์ชัน TecDEM ในการหาค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง	17
รูป 3.1	แผนที่ DEM แสดงค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาในบริเวณพื้นที่ศึกษา	18
รูป 3.2	แผนที่แสดงแอ่งรับน้ำของแม่น้ำลำดับที่ 6 (Order 6) ในพื้นที่ศึกษา	19
รูป 3.3	รูปแสดง Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำ (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI	20
รูป 3.4	แผนที่แสดงค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่งในพื้นที่ศึกษา	26
รูป 3.5	รูปแสดงลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่ง (T Index) และทิศทางการเอียงเท	28
รูป 3.6	แผนที่แสดงทิศทางการเอียงเทของแอ่งรองรับน้ำในพื้นที่ศึกษา	39
รูป 4.1	แผนที่แสดงค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาในบริเวณแนวรอยเลื่อนแสนหวีนา ดิง	40
รูป 4.2	แผนที่แสดงค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่งของแต่ละแอ่งรองรับน้ำในพื้นที่ศึกษา	41
รูป 4.3	แผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (Freymueller, 2011) ในกรอบแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษา	42
รูป 4.4	แผนที่แสดงทิศทางการเอียงตัวของแอ่งรองรับน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษา	43
รูป 5.1	แผนที่แสดงค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาในพื้นที่ศึกษา	44
รูป 5.2	แผนที่แสดงค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่งในพื้นที่ศึกษา	45
รูป 5.3	แผนที่แสดงทิศทางการเอียงตัวของแอ่งรองรับน้ำในพื้นที่ศึกษา	46

# บทที่ 1

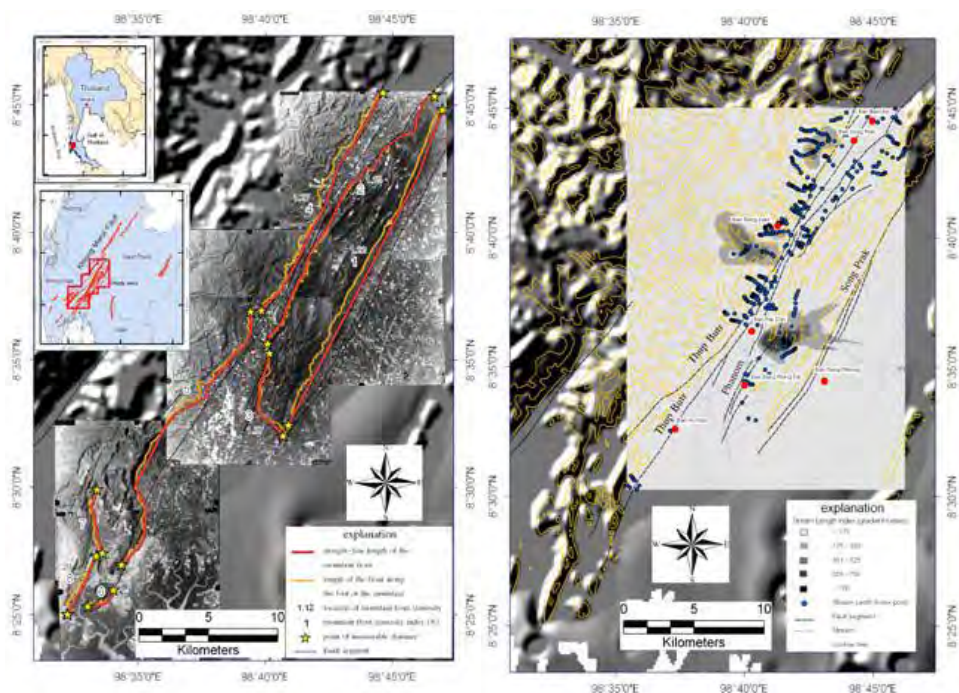
## บทนำ (Introduction)

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

เนื่องจากแนวรอยเลื่อนแสนหวี-น่านตึง เป็นแนวรอยเลื่อนมีพลัง (Pailoplee, 2009) ส่งผลให้เป็นพื้นที่เสี่ยงเนื่องจากแผ่นดินไหว ทั้งนี้แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณรอยเลื่อนแสนหวี-น่านตึง จะส่งผลกระทบต่อบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ที่อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายและผลกระทบที่อันตรายได้มีโอกาสสร้างแผ่นดินไหวได้อีก อีกทั้งพื้นที่นี้ยังเป็นพื้นที่ชายแดน ทำให้ยากต่อการเข้าไปศึกษาโดยตรง ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาภูมิลักษณะธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic Geomorphology) ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงสัมพันธ์ถึงระดับความคมชัดของรอยเลื่อนจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) โดยใช้ข้อมูลโทรสัมผัสในการแปลความหมายเป็นหลัก

### 1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Relevant Research)

Kaewmuangmoon และคณะ (2008) เป็นการสำรวจภูมิลักษณะธรณีแปรสัณฐานของรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย บริเวณเขาพนม ทางใต้ของประเทศไทย โดยใช้ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (Mountain front sinuosity Index, Smf) และดัชนีความลาดยาวทางน้ำ (Stream length gradient Index, SL) จากการศึกษาจะใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) และการสำรวจภาคสนาม มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยจะทำการแบ่งรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ Thup Butr, Phanom และ Song Prak ตามแนวรอยเลื่อนจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปทิศตะวันออกเฉียงใต้ ตามลำดับ พบว่าค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (Smf) มีค่าต่ำ ค่าเฉลี่ยประมาณ 1.14 ของพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ (Bull และ McFadden, 1977) แต่ค่าดัชนีความลาดยาวทางน้ำ (SL) มีค่าสูง ค่าเฉลี่ยประมาณ 200 (Hack, 1973) ในบางพื้นที่ของ Thup Butr และ Phanom สามารถสรุปได้ว่า ค่าดัชนีธรณีแปรสัณฐานสามารถวิเคราะห์ระดับการแปรสัณฐานทางธรณี ว่าเกิดขึ้นจากรอยเลื่อนมีพลัง พบว่า Thup Butr และ Phanom มีความรุนแรงของการแปรสัณฐานในระดับใกล้เคียงกัน ซึ่งรุนแรงกว่า Song Prak

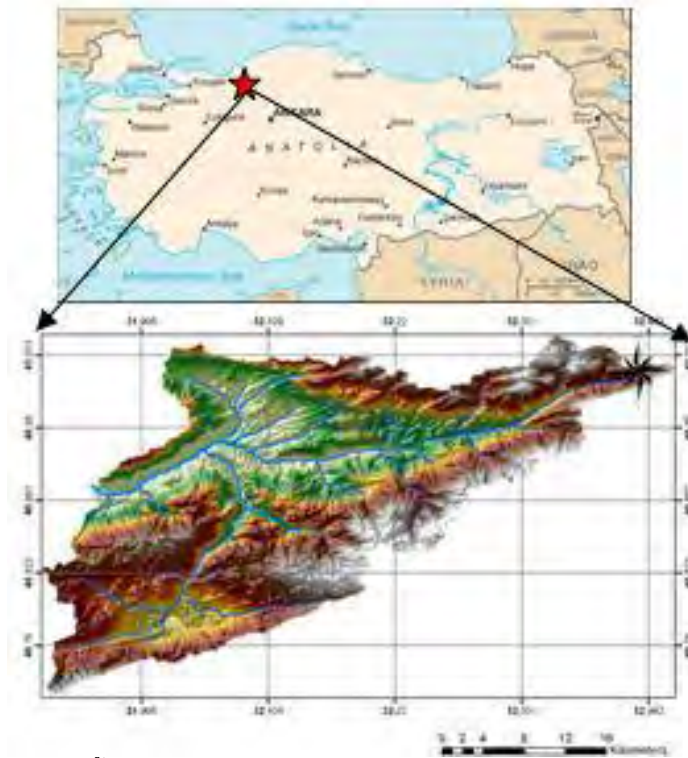


รูป 1.1 DEM ที่ซ้อนทับโดยภาพถ่ายทางอากาศ แสดงการศึกษาโดยวิธี  $S_{mf}$  (ซ้าย) และ SL (ขวา)

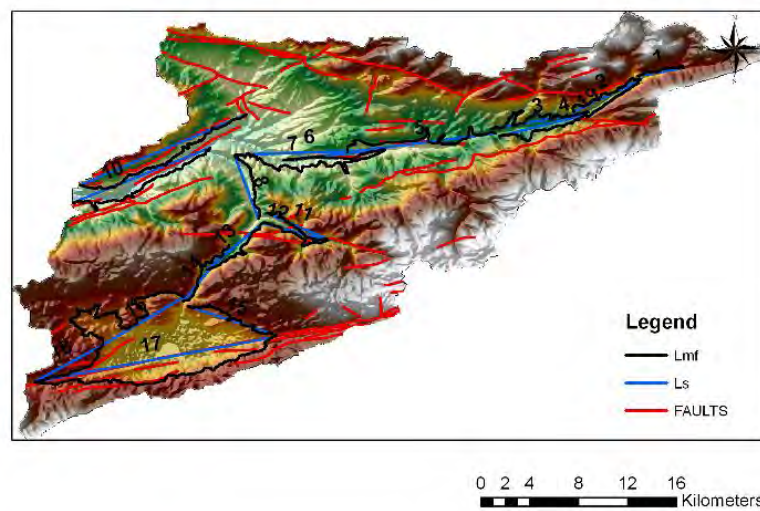
Sarp และคณะ (2011) เป็นการศึกษาลักษณะของธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่แอ่งยenicaga (Yenicaga Basin) ประเทศตุรกี (รูป 1.5) ซึ่งตั้งอยู่บน North Anatolian Fault Zone (NAFZ) ในลักษณะรอยเลื่อนเลื่อนข้าง (Strike-slip fault) โดยใช้เทคโนโลยีของ Remote sensing และ GIS มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งดัชนีธรณีฐานฐานที่ใช้ได้แก่ ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา ( $S_{mf}$ ), ค่าดัชนีรูปร่างหุบเขา ( $V_f$ ), ดัชนีความลาดยาวทางน้ำ (SL) และดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่งรับน้ำ (T) จากค่าที่ได้จาก  $S_{mf}$ ,  $V_f$  และ SL สามารถบอกได้ว่า พื้นที่นี้ได้รับอิทธิพลจากกระบวนการแปรสัณฐาน โดยเป็นผลมาจาก NAFZ ในลักษณะขวาเข้าของรอยเลื่อนเลื่อนข้าง ซึ่งเป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง ส่วนค่าที่ได้จาก T ทำให้รู้ว่าบริเวณนี้เมื่อได้รับอิทธิพลจากรอยเลื่อนดังกล่าว จึงเกิดเป็นแอ่งร่องลึกและขรุขระขึ้นมา ที่มีลักษณะความชันลาดเอียง

ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา ( $S_{mf}$ ) มีทั้งหมด 19 ค่า โดยจะมีอยู่ 4 ค่า ที่มีค่าสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบริเวณนั้นมีการกักต่อน้ำสูงหรือมีการพองสูง แต่ในภาพรวมของพื้นที่ส่วนใหญ่แล้วมีค่าใกล้ 1 จึงสามารถบอกได้ว่าบริเวณนี้เกิดกระบวนการแปรสัณฐาน (Tectonic) มาไม่นานหรือมีการพองต่ำ (รูป 1.6)

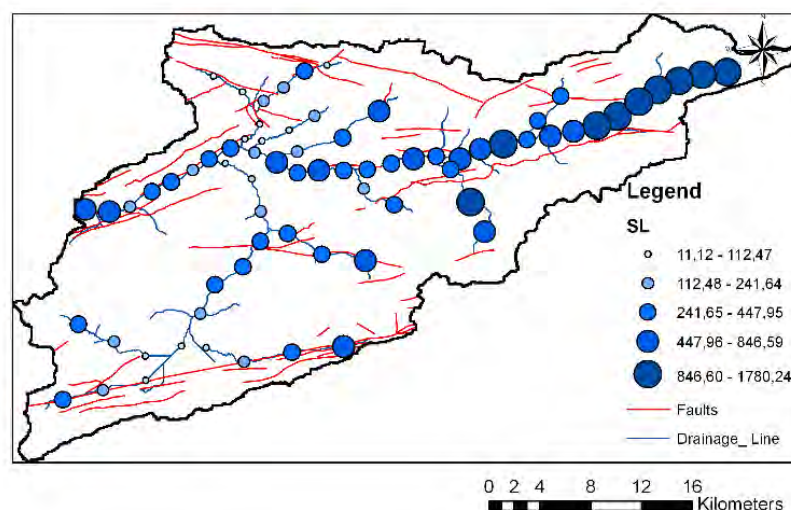
ดัชนีความลาดยาวทางน้ำ (SL) มีทั้งหมด 72 จุดบนแม่น้ำทั้งหมด 15 สาย จะเห็นว่าค่า SL มีการกระจายตัวหรือเกาะกลุ่มกันในแต่ละพื้นที่แต่ละพื้นที่ โดยคาดว่าแต่ละพื้นที่นั้นมีลักษณะของหินที่ต่างชนิดกันทำให้ความลาดชันแตกต่างกันด้วย



รูป 1.2 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาของ Yenicega Basin ประเทศตุรกี



รูป 1.3 การวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาโดยใช้ Mountain front sinuosity Index ( $S_{mf}$ )



รูป 1.4 การวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาโดยใช้ Stream length gradient Index (SL)

### 1.3 ทฤษฎี (Theory)

ดัชนีธรณีสัณฐาน (Geomorphic Index) เป็นการศึกษากระบวนการแสดงลักษณะหรือพฤติกรรมทางธรณีสัณฐานในเชิงปริมาณ (Quantitative) หรือเชิงตัวเลข เพื่ออธิบายกระบวนการต่างๆ ที่ทำให้เกิดลักษณะธรณีสัณฐานนั้นๆ โดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมและข้อมูลโทรมสัณฐานอื่นๆ ประกอบ วิธีการศึกษาดัชนีธรณีสัณฐาน ถือว่าเป็นวิธีที่น่าสนใจและมีการยอมรับกันทั่วโลก (Keller และ Pinter, 1996) ในงานวิจัยนี้เลือกดัชนีธรณีสัณฐานมาใช้ในการศึกษาภูมิลักษณะธรณีแปรสัณฐานของระบบรอยเลื่อนเหลื่อมข้าง (Strike-Slip Fault) ชายแดนไทย-ลาว-พม่า ตัวคือ ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (mountain front sinuosity index, S) และ ดัชนีความลาดชันทางน้ำ (stream length gradient index, SL) เป็นตัวชี้วัด ด้วยหลักการที่ว่าถ้าค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขามีค่าเข้าใกล้ 1 และค่าดัชนีความลาดชันทางน้ำมีค่าสูงในบริเวณใดแสดงว่าบริเวณนั้นจะมีความมีพลังมากกว่าบริเวณอื่นๆ

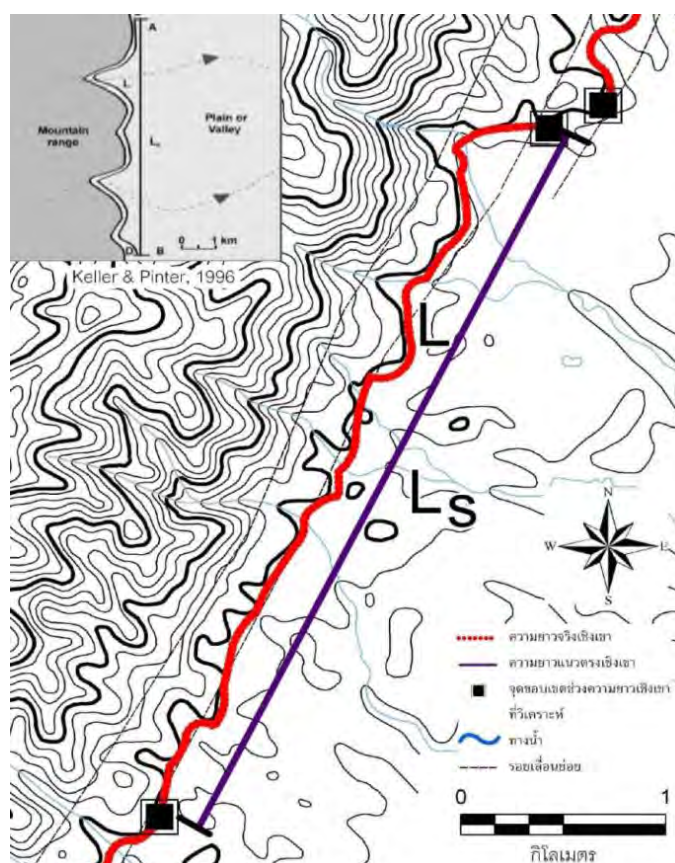
#### 1.3.1 ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (Mountain front sinuosity Index, $S_{mf}$ )

ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา ( $S_{mf}$ ) (Bull และ McFadden, 1977) เป็นดัชนีที่บ่งบอกให้เห็นถึงความสมดุลระหว่างกระบวนการกัดกร่อนด้านหน้าภูเขา (Mountain Front) ทำให้เกิดการคดเคี้ยวของหน้าภูเขา รวมทั้งกระบวนการแปรสัณฐาน (Tectonics) ที่ก่อให้เกิดการยุบตัวและยกตัวของพื้นที่ นักแผ่นดินไหวพยายามใช้ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา ( $S_{mf}$ ) มาวิเคราะห์ถึงความเก่า – ใหม่ หรือความสูง – ต่ำ ของกิจกรรมด้านธรณีแปรสัณฐานที่เกิดขึ้นซึ่งอาจเป็นสาเหตุของแผ่นดินไหว

โดยนัยสำคัญของดัชนีความคดโค้งเชิงเขา ( $S_{mf}$ ) คือ ถ้า  $S_{mf} = 1$  หมายถึงหน้าเขามีลักษณะเป็นผารอยเลื่อนที่คมชัด เกิดกระบวนการแปรสัณฐาน (Tectonics) มาไม่นานหรืออาจเกิดจากความคดงของหินในเขานั้นสูง หรืออัตราการผุพังนั้นต่ำ และถ้า  $S_{mf} > 1$  มากเท่าใด แสดงว่าหน้าเขาถูกกัดกร่อนไปมากเท่านั้น ซึ่งแปลได้ว่า เกิดกระบวนการแปรสัณฐาน (Tectonics) มานานแล้ว หรือหินไม่มีความทนทานนัก หรืออัตราการผุพังอาจจะสูง โดยค่า  $S_{mf}$  สามารถแสดงในรูปสมการ 2 (Bull และ McFadden, 1977)

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s \quad (2)$$

กำหนดให้  $S_{mf}$  คือ ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา  
 $L_{mf}$  คือ ระยะทางความยาวจริงเชิงเขาตามแนวรอยต่อเชิงเขากับที่ราบ  
 $L_s$  คือ ระยะทางความยาวตรงที่วัดจากจุดหนึ่งของเชิงเขาไปยังอีกจุดหนึ่ง



รูป 1.5 แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $L_{mf}$  และ  $L_s$  ในการคำนวณค่า  $S_{mf}$  (Bull และ McFadden, 1977)

### 1.3.2 ดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง (Basin asymmetry Index, *T-Index*)

ดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง (T-Index) การเปลี่ยนแปลงของทางน้ำ (Stream migration) สามารถศึกษาโดยใช้ความสมมาตรตามขวางของภูมิประเทศ (Transverse topographic symmetry factor, T) ได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยให้การประเมินองค์ประกอบความลาดเอียงของกิจกรรมการเกิดแนวภูเขา ซึ่งคำนวณจากค่าอัตราของระยะทางของเส้นแบ่งกลางแอ่ง (Basin's mid-line) ตามทฤษฎี ต่อระยะทางที่ทางน้ำที่เกิดขึ้นจริงและขอบเขตของแอ่ง โดยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง (T) สามารถแสดงในรูปสมการ 3 (Cox, 1994; Garrote และคณะ, 2006, 2008)

$$T = D_a / D_d \quad (3)$$

กำหนดให้	T	คือ ค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง
	$D_a$	คือ ระยะทางจากตรงกลางของแอ่งตะกอนรับน้ำ (midline of its drainage basin) ถึงระยะทางน้ำที่เกิดจากการระบวนการแปรสัณฐาน (midline of active channel) หรือ ระยะทางที่เส้นแม่น้ำตั้งอยู่จริง โดยวัดตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากผ่านทางน้ำนั้นพอดี
	$D_d$	คือ ระยะทางจากขอบของแอ่งรับน้ำหารด้วยเส้นกลางของแอ่งรับน้ำ (midline of the basin)

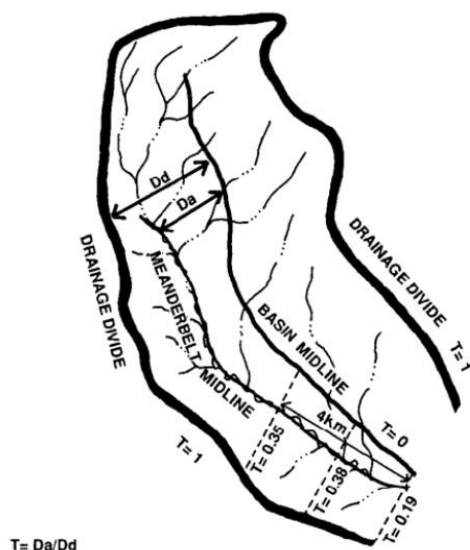
โดยนัยสำคัญของค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง คือ

T = 0 หมายถึง แอ่งน้ำมีความสมมาตรสมบูรณ์แบบ (Completely Symmetry) กล่าวคือ ภายใต้อพื้นที่ศึกษาบริเวณแอ่งน้ำ เส้นแม่น้ำทับกับเส้นผ่านศูนย์กลางแอ่งน้ำพอดี ซึ่งเป็นผลมาจากการไม่เกิดกระบวนการแปรสัณฐานใดๆ ที่ทำให้เกิดการเอียงตัว ยุบตัว ยกตัว ของแอ่งน้ำ ดังนั้น แอ่งน้ำจึงมีความสมมาตรสมบูรณ์แบบ

T = 1 หมายถึง แอ่งน้ำไม่มีความสมมาตรสมบูรณ์แบบ (Completely Asymmetry) กล่าวคือ ภายใต้อพื้นที่ศึกษาบริเวณแอ่งน้ำ เกิดการแปรสัณฐานอย่างรุนแรง หรือ มากพอที่ทำให้



เส้นแม่น้ำหลักเฉียงตัวไปทับกับบริเวณขอบแอ่งน้ำ หรือ อาจกล่าวได้ว่า แอ่งน้ำมีการเฉียงตัว หรือ ยกตัว ยุบตัว เนื่องจากกระบวนการแปรสัณฐานเป็นผลให้แอ่งน้ำไม่มีความสมมาตรสมบูรณ์แบบ



รูป 1.6 แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $D_a$  และ  $D_d$  ในการคำนวณค่า  $T$  (Cox, 1994)

### 1.3.3 ดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง (Basin hypsometric index, HI)

ดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง (HI) คือการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชันต่อความสูงของพื้นที่แอ่งหรือของพื้นที่ผิวของแอ่งที่ระดับความสูงต่างๆ ของแอ่ง (Langbein, 1947; Strahler, 1952) เป็นที่นิยมใช้ในการประเมินขอบเขตของการกัดเซาะพื้นที่ลุ่มน้ำ (Basin erosion) อายุสัณฐานสัมพัทธ์ (Relative geomorphic age) และการยกเปลือกโลก (Tectonic uplift) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ Hypsometric integral (ค่า HI) และ Hypsometric curve (กราฟเส้นรูปตัว S) (รูป 2.4)

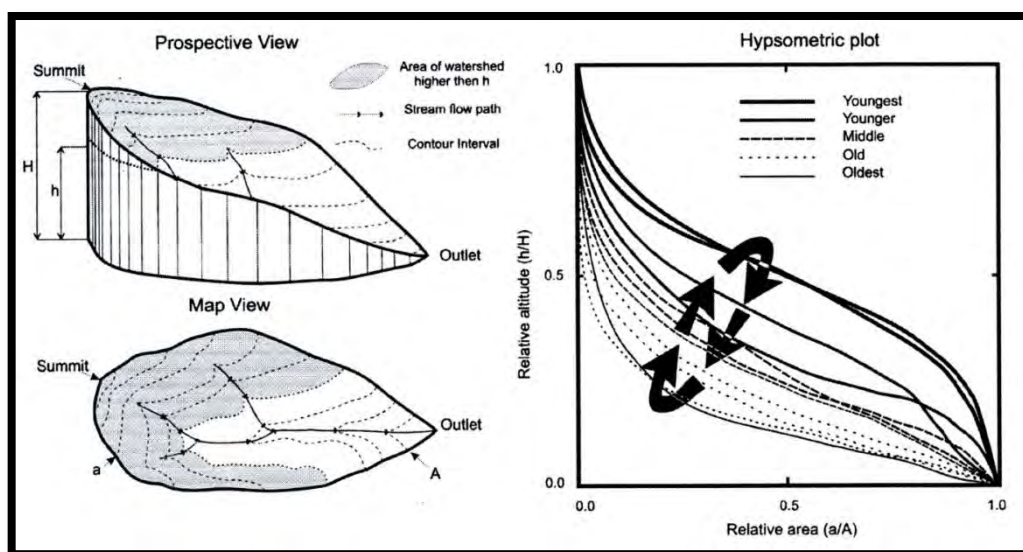
โดยนัยสำคัญของค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง คือ ถ้าค่าของ HI น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 ถือว่าแอ่งนั้นมีความเสถียรและสมบูรณ์ในการพัฒนาและถ้าค่าของ HI มากกว่าหรือเท่ากับ 0.60 ถือว่าแอ่งนั้นมีความไม่เสถียรและเป็นแอ่งกิจกรรมอยู่ สามารถแสดงในรูปสมการ 4 (Strahler, 1952)

$$HI = (E_{mean} - E_{min}) / (E_{max} - E_{min}) \quad (4)$$

กำหนดให้	$E_{\text{mean}}$	คือ ค่าความสูงเฉลี่ยของแอ่ง
	$E_{\text{max}}$	คือ ค่าความสูงสูงสุดของแอ่ง
	$E_{\text{min}}$	คือ ค่าความสูงต่ำสุดของแอ่ง

Hypsometric curve สามารถคำนวณจากการพล็อตกราฟระหว่างค่าความสูงสัมพัทธ์ของแอ่ง (Relative attitude,  $h/H$ ) และพื้นที่สัมพัทธ์ของแอ่ง (Relative area,  $a/A$ ) (Garrote และคณะ, 2008; Perez-Pena และคณะ, 2009; Strahler, 1952)

กำหนดให้	$h$	คือ ระดับความสูงส่วนย่อยของแอ่ง (bin)
	$H$	คือ ระดับความสูงที่สูงสุดของแอ่ง
	$a$	คือ พื้นที่ทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับความสูงส่วนย่อย ( $h$ )
	$A$	คือ พื้นที่ทั้งหมดของแอ่ง



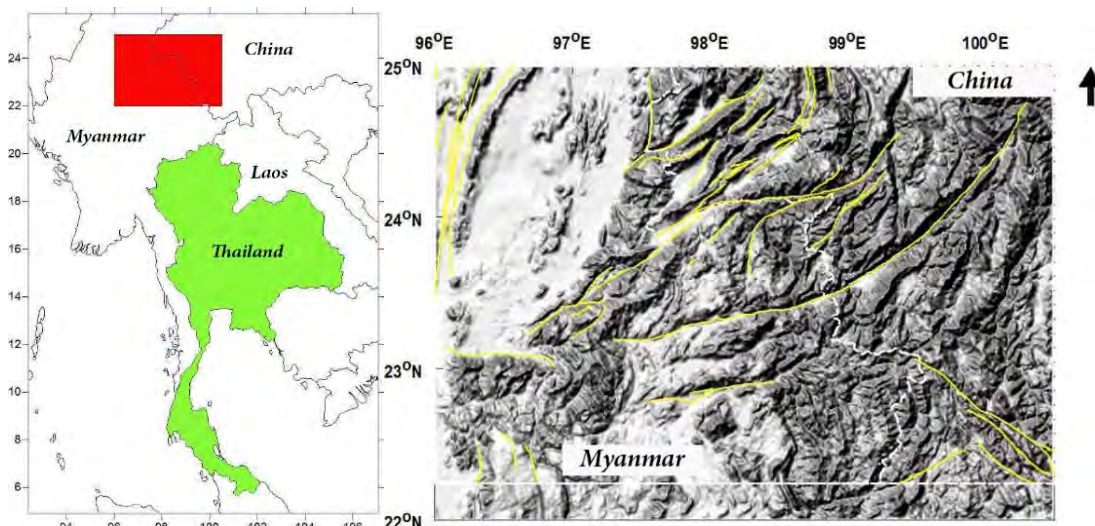
รูป 1.7 แสดงแนวคิดการตรวจวัดตัวแปรต่างๆ เพื่อการคำนวณดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง (Shahzad, 2011)

#### 1.4 วัตถุประสงค์ (Objectives)

1. เพื่อตรวจวัดดัชนีธรณีสารสนเทศจากความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏกับรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา
2. เพื่อประเมินระดับความมีพลังบริเวณรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา

### 1.5 พื้นที่ศึกษา (Study area)

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่บริเวณตามแนวรอยเลื่อนสายหวิ-นานติง, ชายแดนพม่า-จีน มีพิกัดที่ละติจูด 22-25 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 96-100.5 องศาตะวันออก



รูป 1.8 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาตามแนวรอยเลื่อนสายหวิ-นานติง, ชายแดนพม่า-จีน

### 1.6 ขอบเขตงานวิจัย (Scope of work)

วิเคราะห์ดัชนีธรณีแปรสัณฐานคือดัชนีความลาดยาวทางน้ำ และดัชนีความคดโค้งเชิงเขา โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ตามแนวรอยเลื่อนสายหวิ-นานติง, ชายแดนพม่า-จีน

### 1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Outputs)

สามารถประเมินและวิเคราะห์ระดับความมีพลังบริเวณรอยเลื่อนและการเกิดธรณีแปรสัณฐานในบริเวณพื้นที่ศึกษาจากค่าดัชนีธรณีแปรสัณฐานที่ได้เบื้องต้น

## บทที่ 2

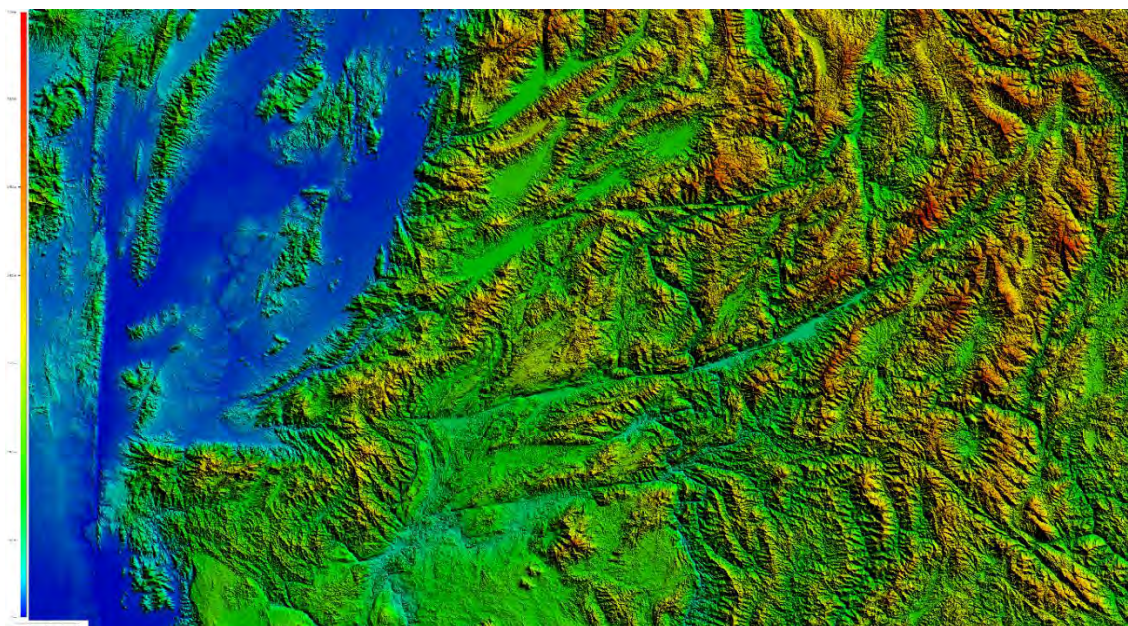
### ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

#### 2.1 ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและรวบรวมเอกสารพื้นฐานในพื้นที่ศึกษา โดยศึกษางานวิจัยที่มีการนำวิธีการประเมินดัชนีธรณีสารสนเทศมาใช้ในการศึกษากระบวนการธรณีแปรสัณฐานที่เกิดขึ้น
2. จัดเตรียมข้อมูลและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ แผนที่ลักษณะความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล (Digital Elevation Model, DEM), ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากโปรแกรม Google Earth เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนซอฟต์แวร์ที่ใช้การประมวลผล ได้แก่ ArcView GIS 3.2a, Google Earth และ Surfer
3. คำนวณค่าดัชนีธรณีสารสนเทศ ได้แก่ ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (Smf), ดัชนีความลาดยาวทางน้ำ (SL)
4. วิเคราะห์ค่าดัชนีสารสนเทศที่สัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา
5. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา
6. นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงาน

#### 2.2 การรวบรวมข้อมูล (Data Acquisition)

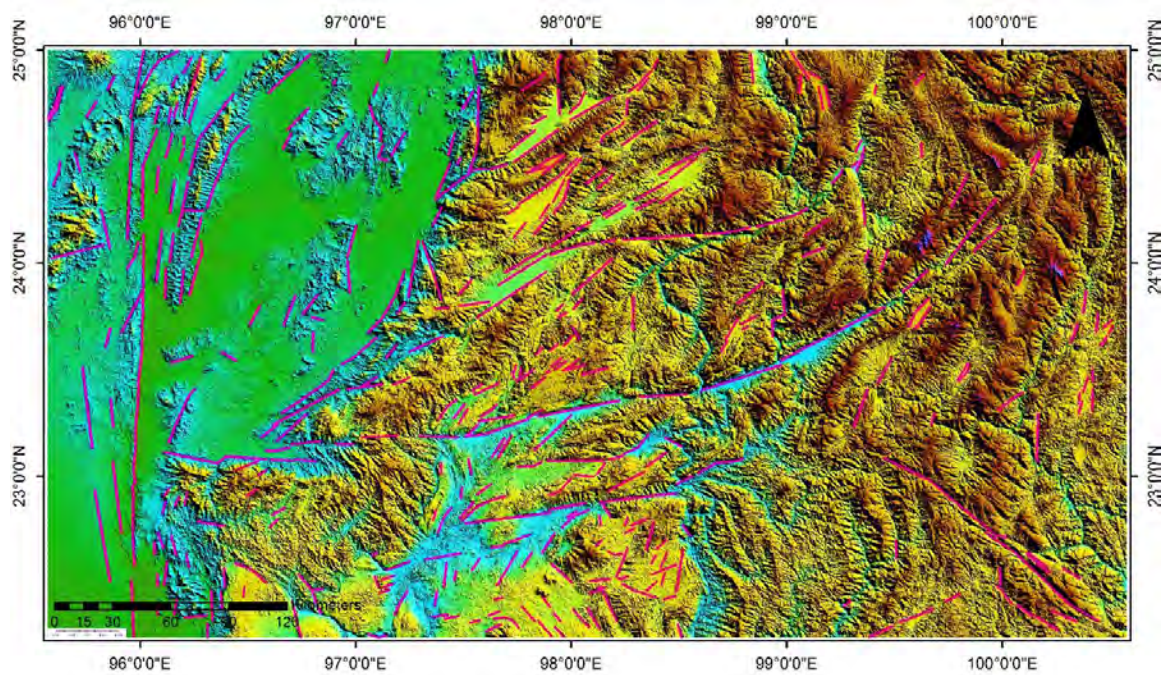
1. ดาวน์โหลดข้อมูลแผนที่ลักษณะความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล (Digital Elevator Model, DEM) ของพื้นที่ศึกษาจากเว็บไซต์ <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>
2. ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS บริเวณพื้นที่ศึกษาจากโปรแกรม Google Earth



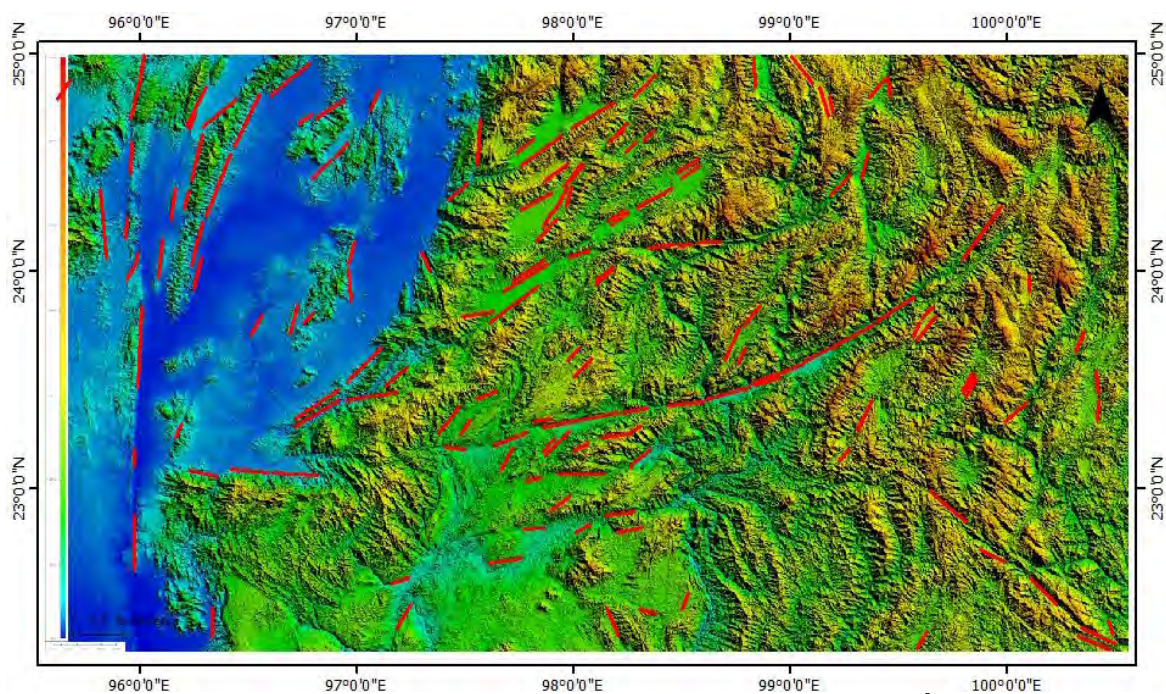
รูป 2.1 ลักษณะความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิตอล (Digital Elevator Model, DEM) ของพื้นที่ศึกษา

### 2.3 ระเบียบวิธีวิจัยค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (Mountain front Index Methodology)

1. สังกัดลักษณะภูมิประเทศในบริเวณพื้นที่ศึกษาจากภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS และแผนที่ลักษณะความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิตอล (Digital Elevator Model, DEM) โดยใช้โปรแกรม Google Earth
2. แปลลักษณะโครงสร้างเชิงเส้น (Lineament Structure) ที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยอาศัยการสังกัลักษณะภูมิประเทศต่างที่พบ และลากกำหนดเส้นโดยใช้โปรแกรม Google Earth
3. พิจารณาคัดเลือกโครงสร้างเส้นตรง (Lineament Structure) ทั้งหมด โดยพิจารณาจากรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา ความคมชัดและความยาวของโครงสร้างเส้นตรง (Lineament Structure) จากการคำนวณสมการการลดทอนแผ่นดินไหวที่เกิดในบริเวณพื้นที่ศึกษาจะส่งผลกระทบต่อทางตอนเหนือของประเทศไทย ต้องเป็นแผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 6 Magnitude นำไปคำนวณในสมการของ Well และ Copper Smith ในปี 1984 จะได้ว่า แผ่นดินไหวขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 6 Magnitude จะเกิดจากรอยเลื่อนที่มีความยาวตั้งแต่ 7.76 กิโลเมตรขึ้นไป

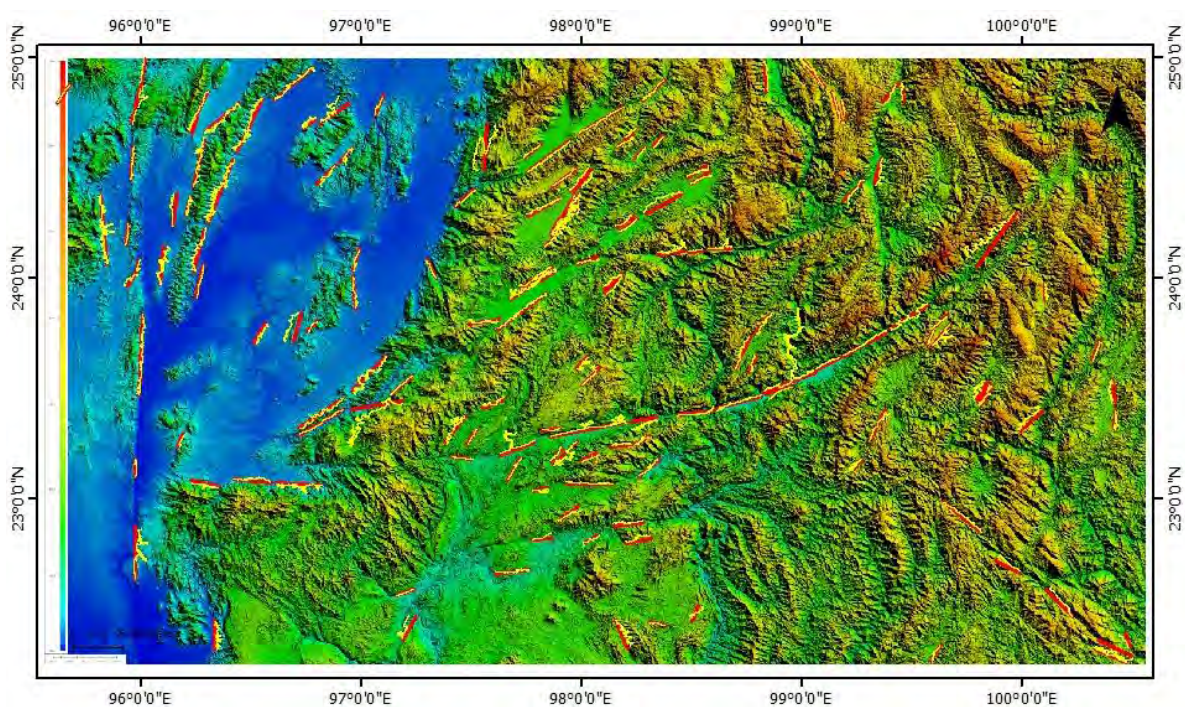


รูป 2.2 แผนที่แสดงลักษณะโครงสร้างเชิงเส้น (Lineament Structure) ของพื้นที่ศึกษา



รูป 2.3 แผนที่แสดงลักษณะโครงสร้างเชิงเส้น (Lineament Structure) ของพื้นที่ศึกษา ที่ผ่านการพิจารณาแล้ว (147 เส้น)

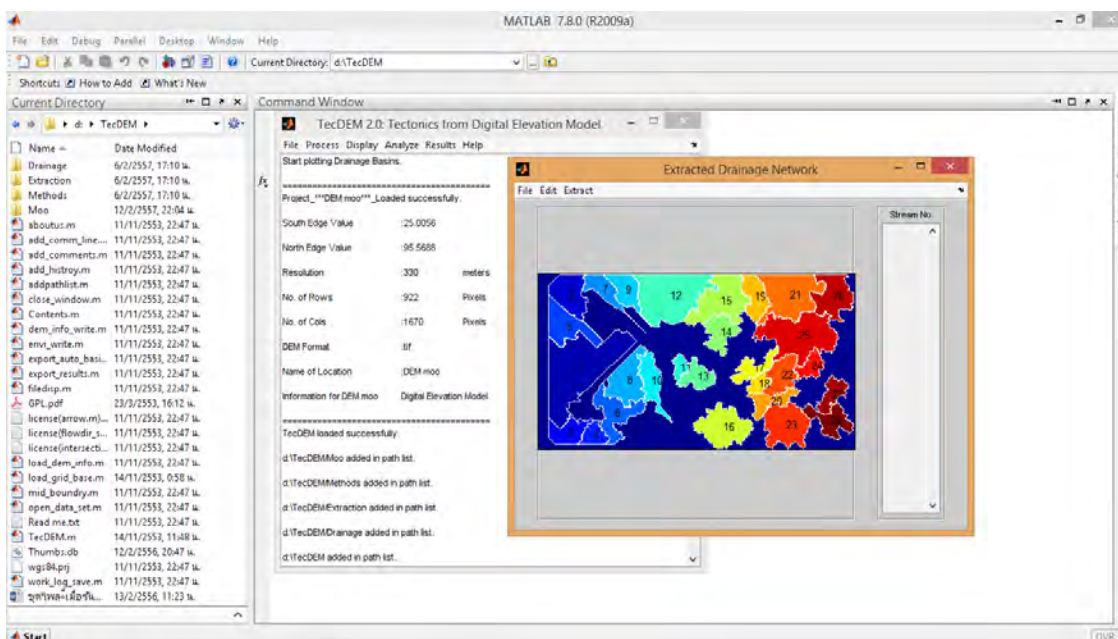
4. นำโครงสร้างเส้นตรง (Lineament Structure) ที่ได้ไปเทียบกับเส้นชั้นความสูง (Contour Line) ที่มีความต่างชั้นความสูง 100 เมตร ข้อมูลจากแผนที่ลักษณะความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล (Digital Elevation Model, DEM) นำไปพิจารณาคู่กับลักษณะหน้าเขา โดยใช้โปรแกรม ArcGis และคำนวณหาความยาวของเชิงเขาที่วัดได้จริง
5. นำข้อมูลเส้นความยาวของเชิงเขาที่วัดได้จริง ( $L_{mf}$ ) และเส้นความยาวเส้นตรงจากด้านหน้าของเชิงเขา ( $L_s$ ) ไปคำนวณดัชนีความคดโค้งเชิงเขา ( $S_{mf}$ ) ดังสมการที่ 1



รูป 2.4 แผนที่แสดงลักษณะโครงสร้างเชิงเส้น (Lineament Structure) เทียบกับเส้นความยาวของเชิงเขาที่วัดได้จริง ( $L_s$ )

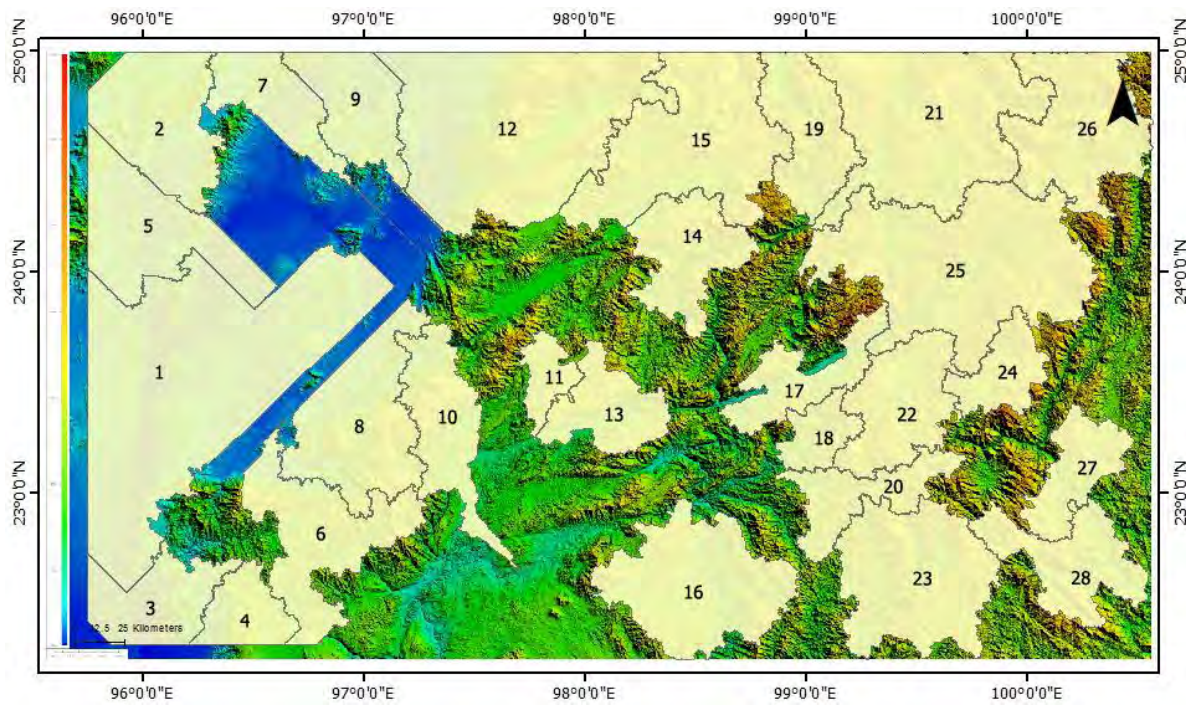
## 2.4 ระเบียบวิธีวิจัยค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง (Hypsometry Index Methodology)

1. นำแผนที่ลักษณะความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล (Digital Elevation Model, DEM) ของพื้นที่ศึกษา มาสร้างลักษณะพื้นที่แอ่งรองรับน้ำ โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ฟังก์ชัน TecDEM กำหนดให้ใช้แม่น้ำอันดับ 6 (Strahler Order 6) เพื่อให้กระจายทั่วพื้นที่ศึกษา
2. นำแอ่งรองรับน้ำที่ได้มาพิจารณา และตัดพื้นที่ที่ไม่ใช่แอ่งรองรับน้ำ (บริเวณพื้นที่ราบทางฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษา)
3. คำนวณค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง (HI) ของแต่ละแอ่งดังสมการที่ 3
4. สร้างกราฟแสดงลักษณะของ Hypsometric Curve ของแอ่งรองรับน้ำ

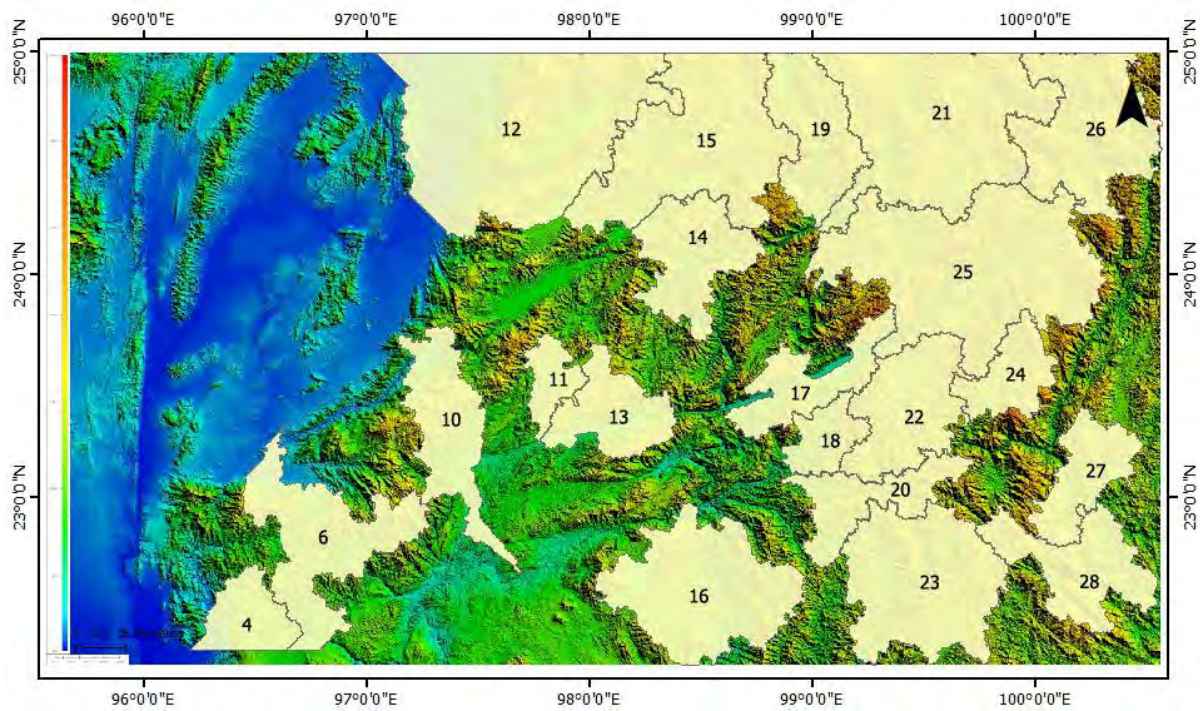


รูป 2.5 รูปแสดงการสร้างลักษณะพื้นที่แอ่งรองรับน้ำ โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ฟังก์ชัน TecDEM กำหนดให้ใช้แม่น้ำอันดับ 6 (Strahler Order 6)

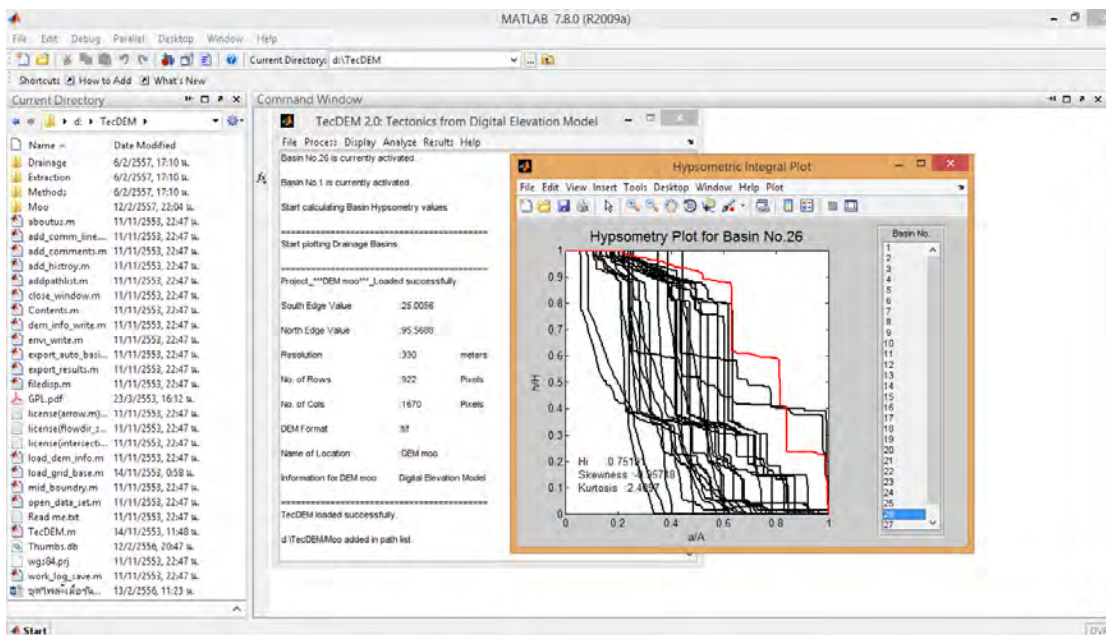




รูป 2.6 แผนที่แสดงแ่งรองรับน้ำแม่น้ำอันดับ 6 (Strahler Order 6) ทั้งหมดในพื้นที่



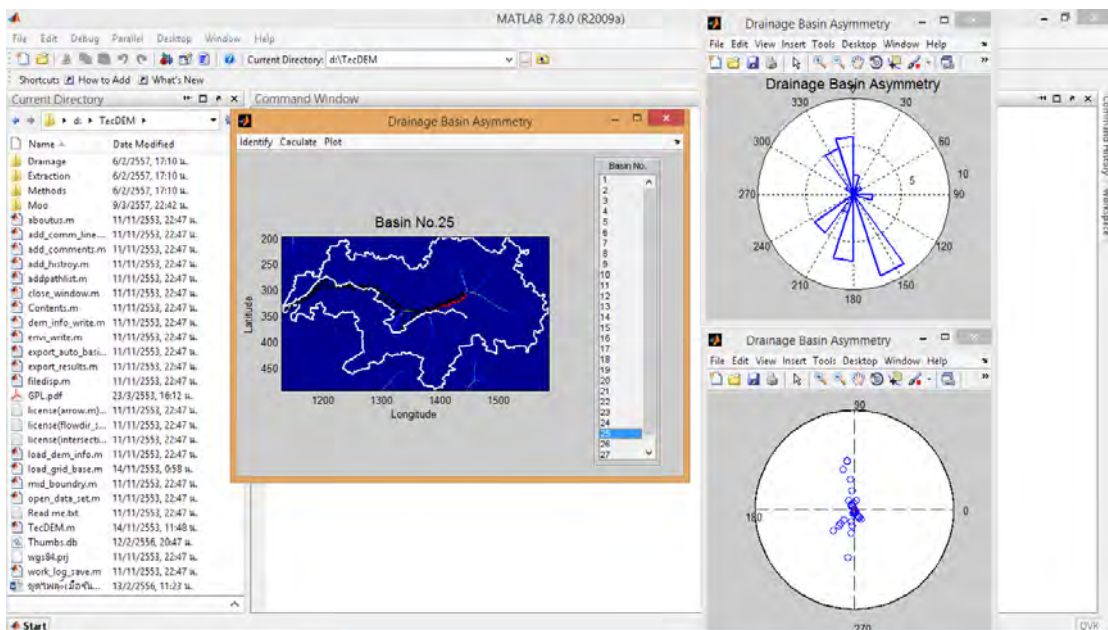
รูป 2.7 แผนที่แสดงแ่งรองรับน้ำแม่น้ำอันดับ 6 (Strahler Order 6) ที่พิจารณาแล้ว



รูป 2.8 ตัวอย่างแอ่งรับน้ำที่ 26 โดยการใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ฟังก์ชัน TecDEM ในการหาค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง

## 2.5 ระเบียบวิธีวิจัยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง (T Index Methodology)

1. นำแผนที่ลักษณะความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล (Digital Elevator Model, DEM) ของพื้นที่ศึกษามาสร้างลักษณะพื้นที่แอ่งรองรับน้ำ โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ฟังก์ชัน TecDEM กำหนดให้ใช้แม่น้ำอันดับ 6 (Strahler Order 6) เพื่อให้กระจายทั่วพื้นที่ศึกษา
2. นำแอ่งรองรับน้ำที่ได้มาพิจารณา และตัดพื้นที่ที่ไม่ใช่แอ่งรองรับน้ำ (บริเวณพื้นที่ราบทางฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษา)
3. กำหนดเส้นทางน้ำหลัก (Main Stream) และเส้นแบ่งกลางแอ่ง (Basin Mid-line) ของแอ่งรับน้ำแต่ละแอ่ง นำไปคำนวณค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแต่ละแอ่งรองรับน้ำ ดังสมการที่ 2
4. นำค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแต่ละแอ่งมาพล็อตลง Rose Diagram และ Polar Diagram เพื่อดูทิศทางการเอียงตัวของแอ่งรองรับน้ำ



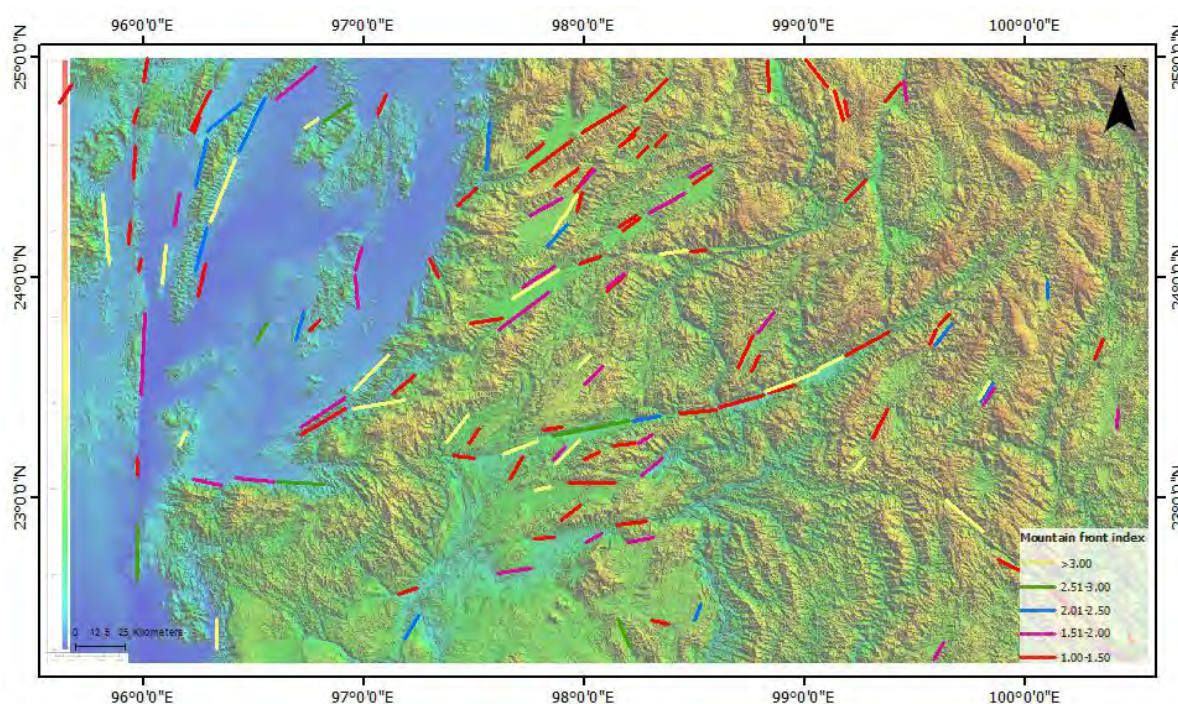
รูป 2.9 ตัวอย่างแอ่งรับน้ำที่ 25 โดยการใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ฟังก์ชัน TecDEM ในการหาค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง

### บทที่ 3

## ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล (Result and Interpretation)

### 3.1 ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (Mountain front sinuosity Index, $S_{mf}$ )

จากการตรวจสอบลักษณะภูมิประเทศในบริเวณพื้นที่ศึกษาโดยการใช้ ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS และ ภาพ DEM ได้ข้อมูลค่าดัชนีทั้งหมด 147 ค่า (รูป 3.1)



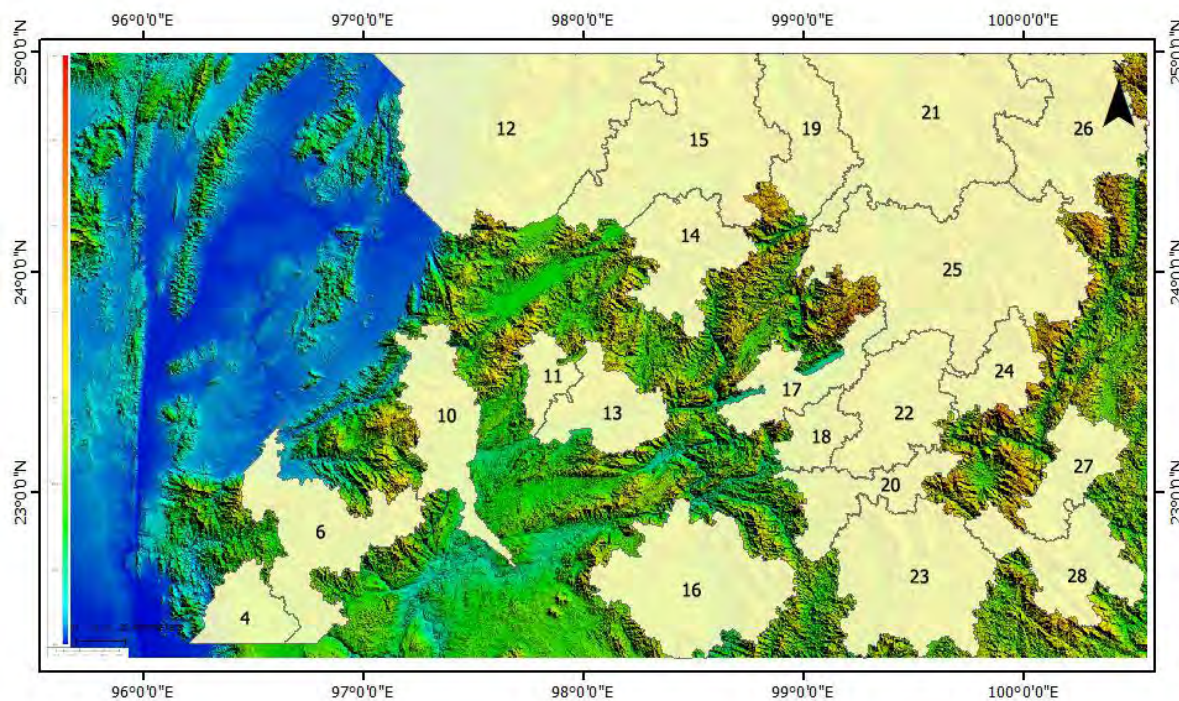
รูป 3.1 แผนที่ DEM แสดงค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาในบริเวณพื้นที่ศึกษา

สามารถแบ่งค่าดัชนีความคดโค้งออกได้เป็น 5 ระดับดังนี้

ระดับ 1 (เส้นสีแดง):	มีค่า $S_{mf}$ ในช่วง 1.00-1.50	จำนวนทั้งหมด 68 ค่า
ระดับ 2 (เส้นสีม่วง):	มีค่า $S_{mf}$ ในช่วง 1.51-2.00	จำนวนทั้งหมด 28 ค่า
ระดับ 3 (เส้นสีน้ำเงิน):	มีค่า $S_{mf}$ ในช่วง 2.01-2.51	จำนวนทั้งหมด 25 ค่า
ระดับ 4 (เส้นสีเขียว):	มีค่า $S_{mf}$ ในช่วง 2.51-3.00	จำนวนทั้งหมด 7 ค่า
ระดับ 5 (เส้นสีเหลือง):	มีค่า $S_{mf}$ ในช่วง >3.00	จำนวนทั้งหมด 19 ค่า

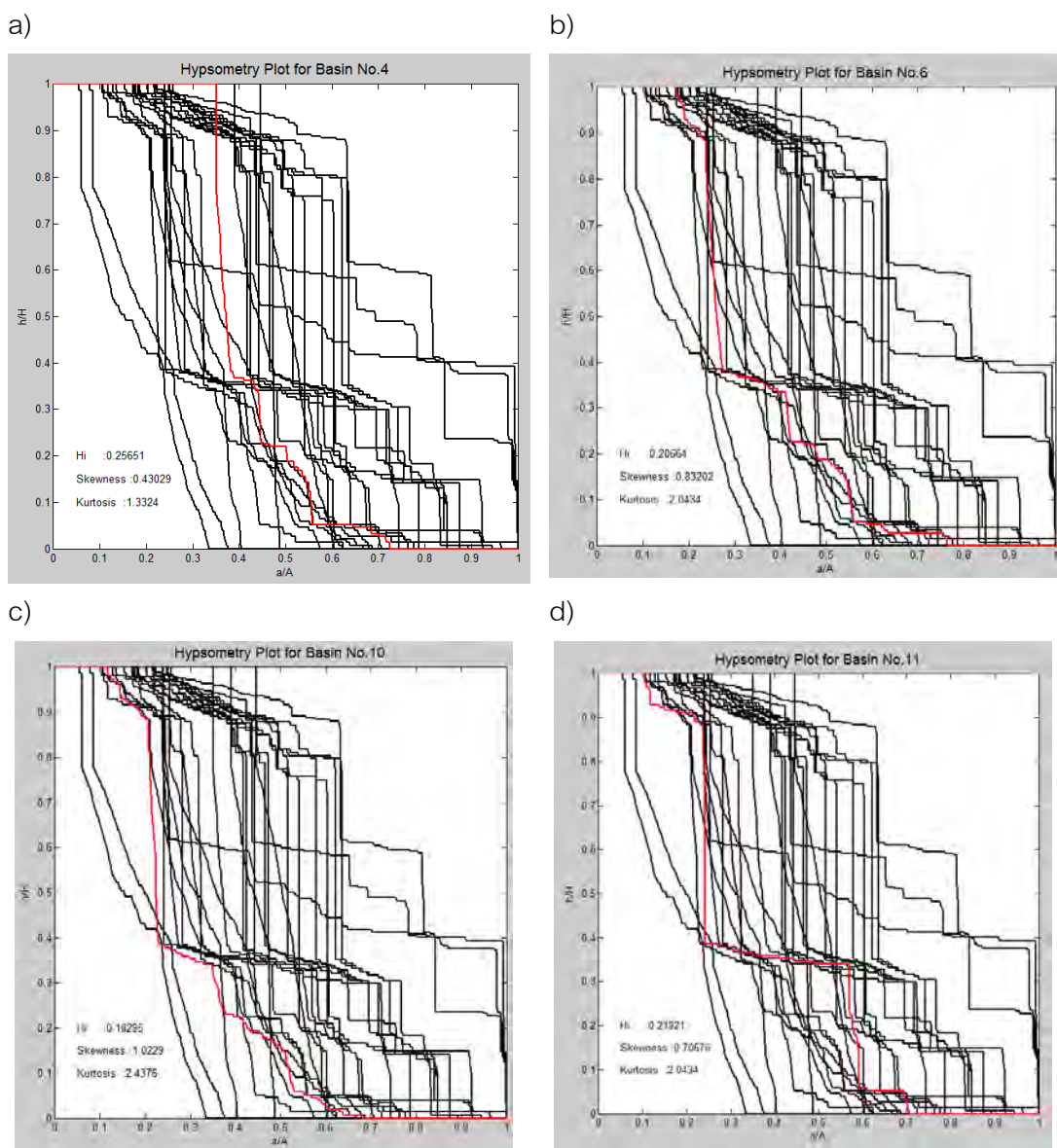
### 3.2 ดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง (Hypsometric Index, HI)

จากการวิเคราะห์ดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง ในแม่น้ำลำดับที่ 6 (Order 6) ได้ข้อมูลของแอ่งรับน้ำที่นำมาใช้ได้จริง 21 แอ่ง ดังนี้ (รูป 3.2)



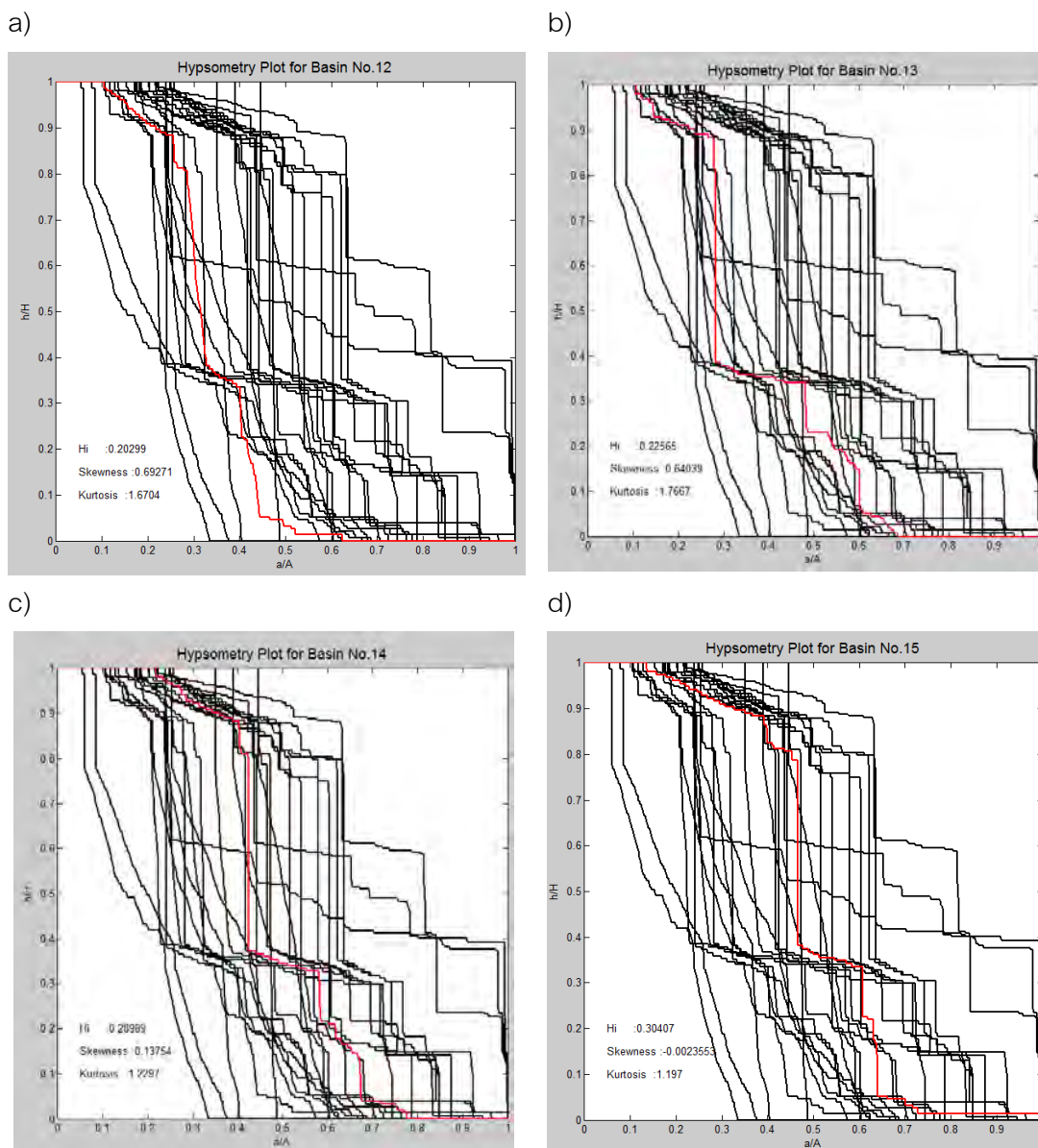
รูป 3.2 แผนที่แสดงแอ่งรับน้ำของแม่น้ำลำดับที่ 6 (Order 6) ในพื้นที่ศึกษา

โดยแต่ละแอ่งแสดงลักษณะของ Hypsometric curve และมีค่า HI ตามรูป 3.3



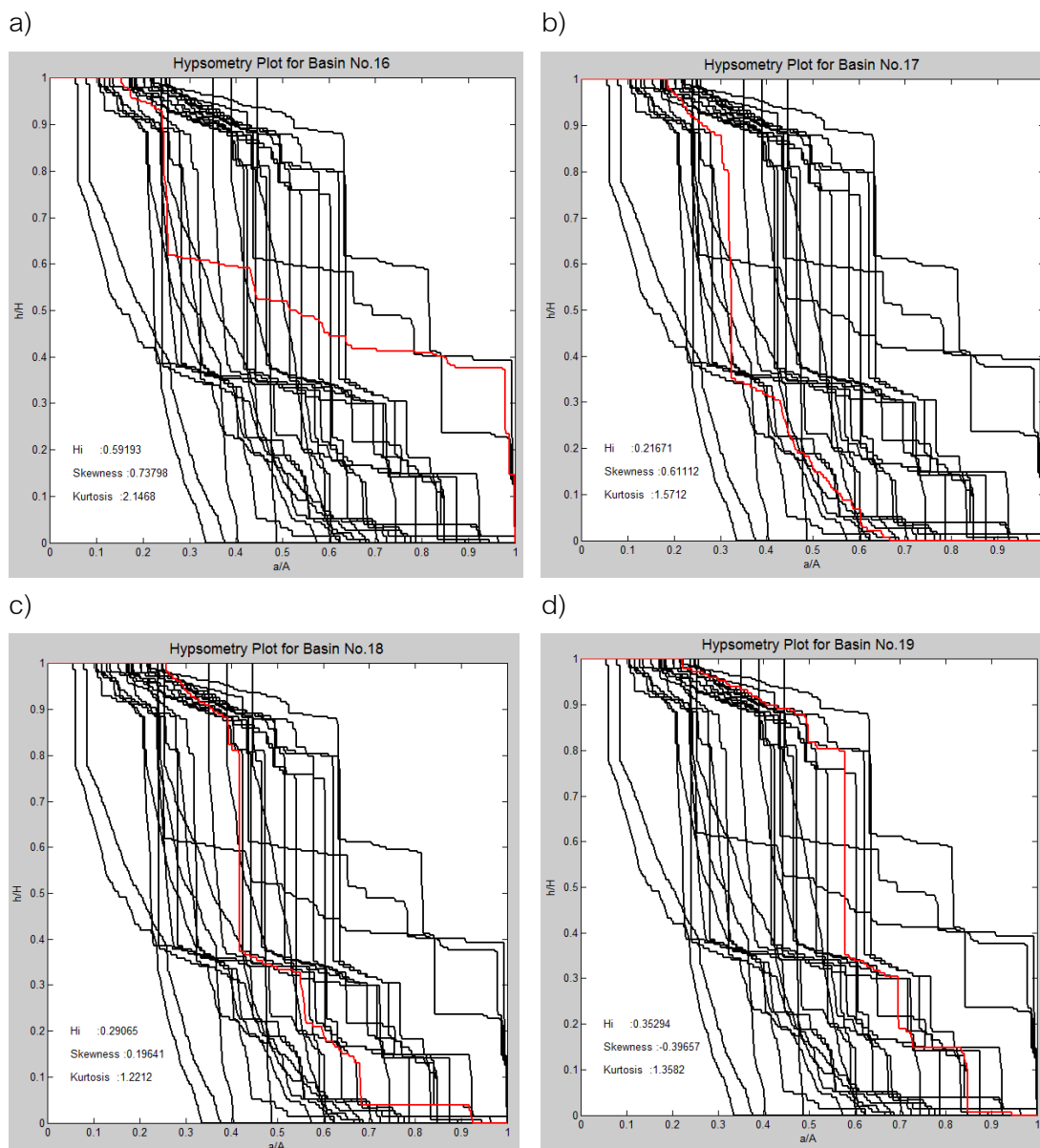
รูป 3.3 รูปแสดง

- a) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 4 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.25651  
 b) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 6 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.20664  
 c) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 10 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.18295  
 d) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 11 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.21921



รูป 3.3 รูปแสดง

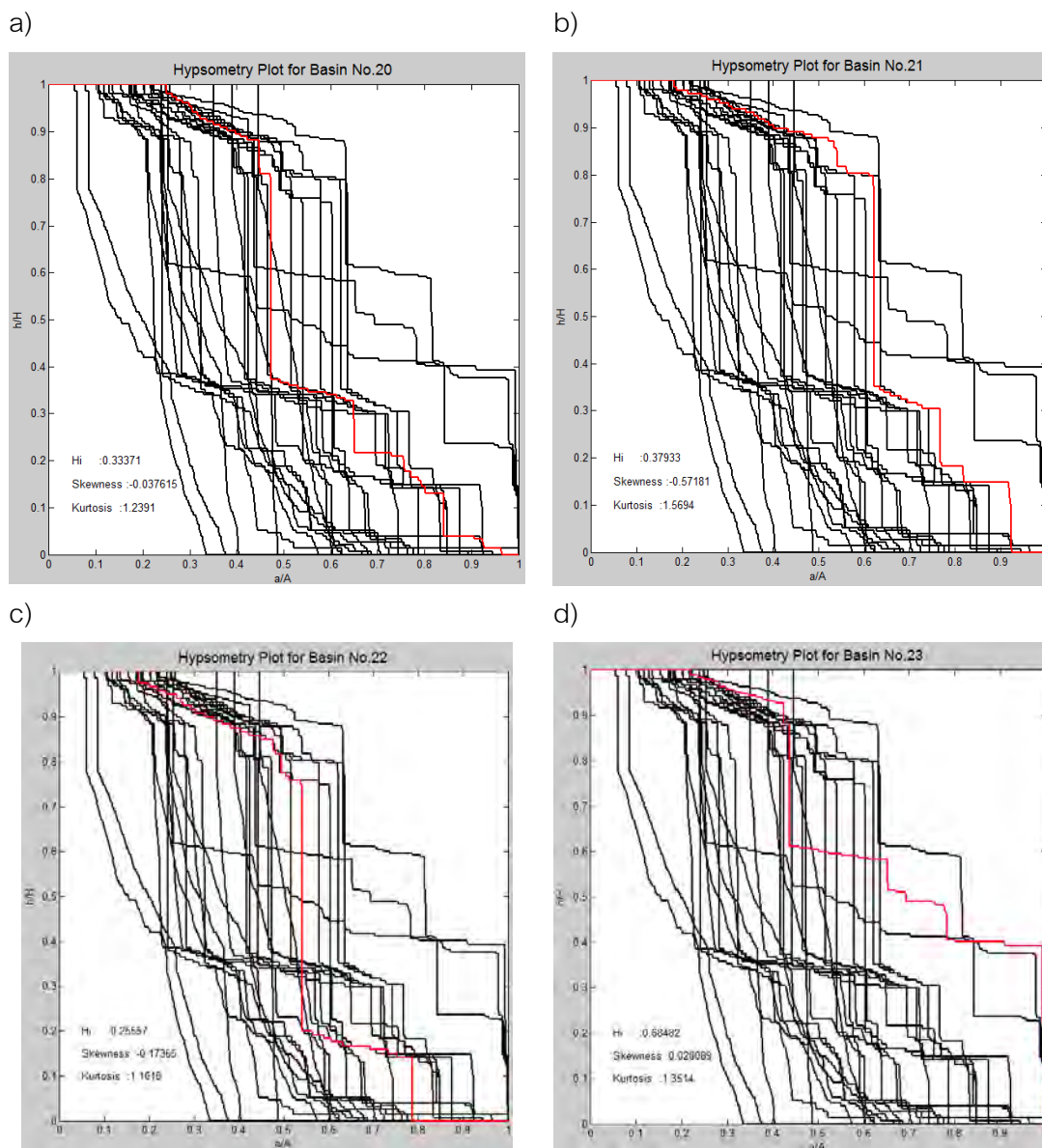
- (ต่อ)
- a) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 12 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.20299
  - b) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 13 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.22566
  - c) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 14 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.28989
  - d) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 15 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.30407



รูป 3.3 รูปแสดง

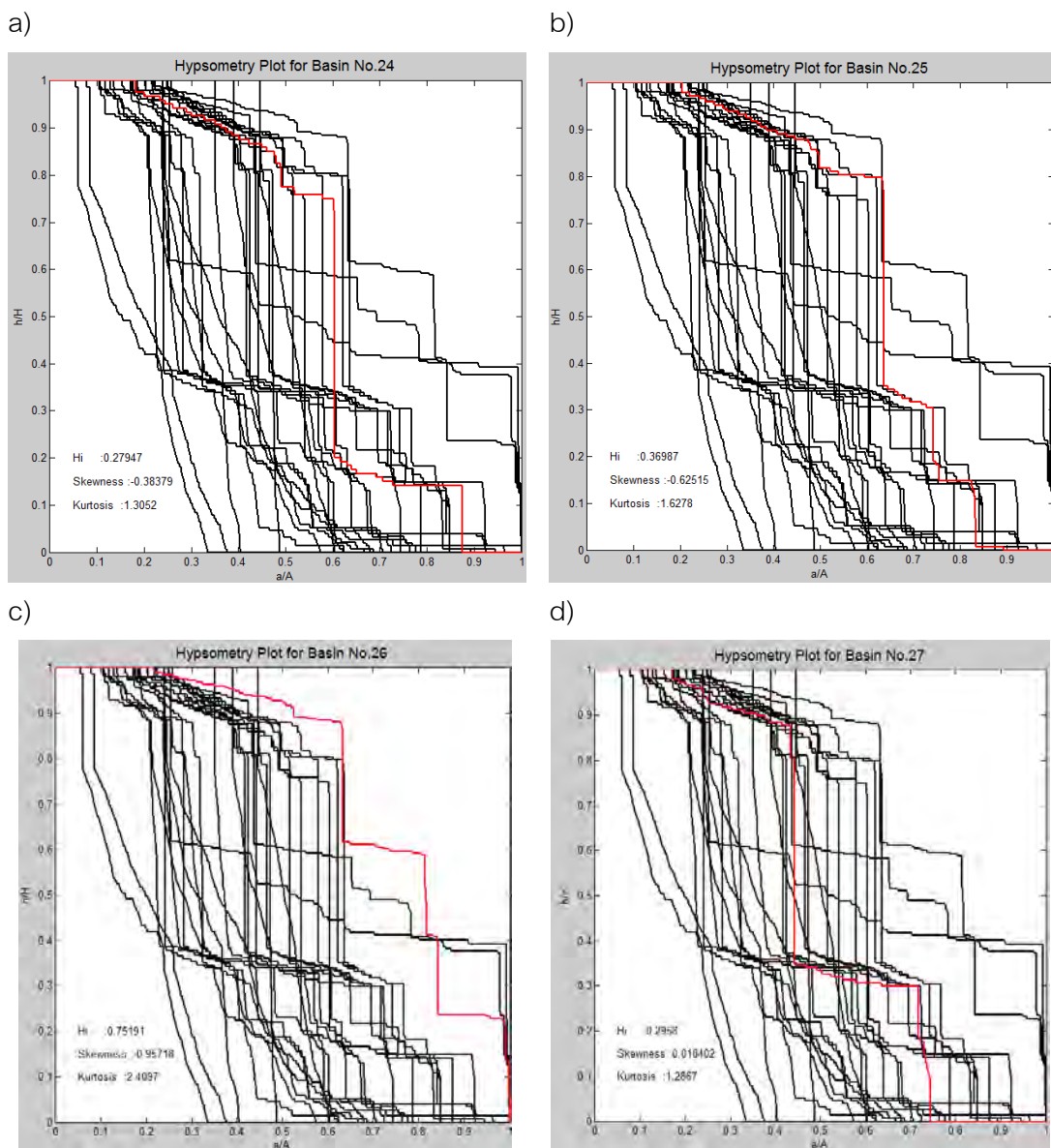
- (ต่อ)
- a) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 16 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.59193
  - b) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 17 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.21671
  - c) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 18 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.29065
  - d) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 19 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.35294





รูป 3.3 รูปแสดง

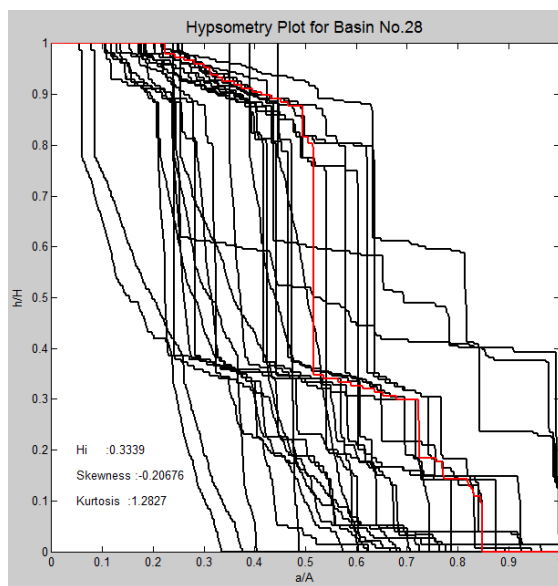
- (ต่อ) a) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 20 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.33371  
 b) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 21 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.37933  
 c) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 22 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.25557  
 d) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 23 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.68482



รูป 3.3 รูปแสดง

- (ต่อ) a) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 24 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.27947  
 b) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 25 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.36987  
 c) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 26 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.75191  
 d) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 27 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.29580

a)

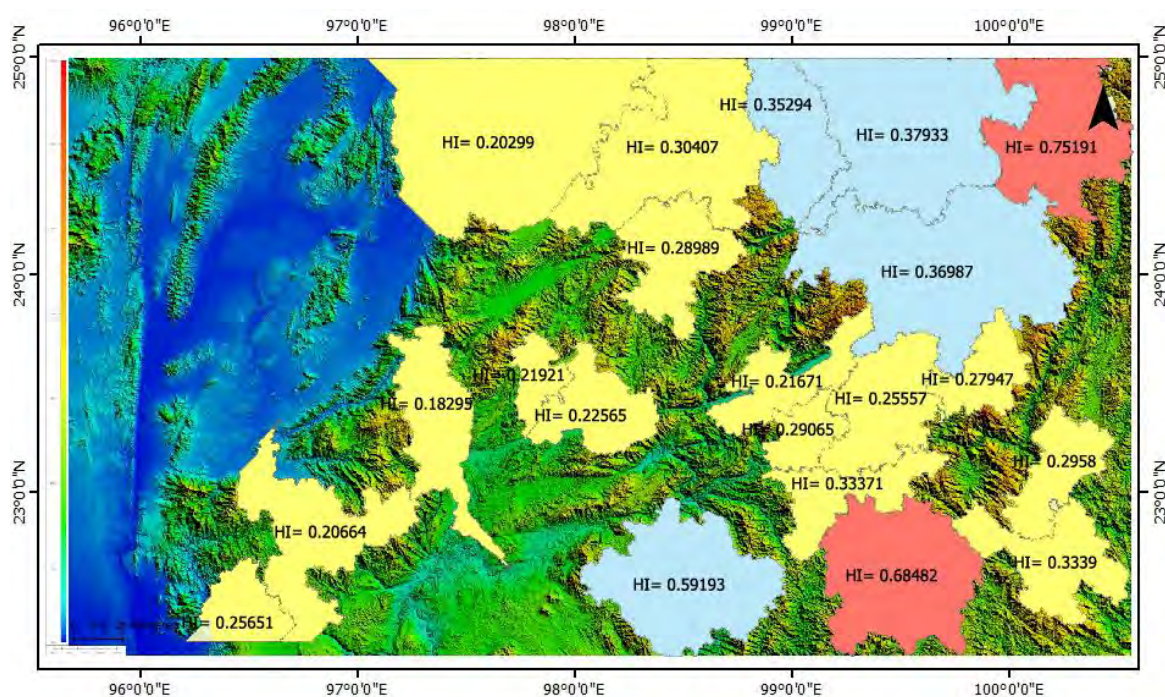


รูป 3.3 รูปแสดง

(ต่อ) a) Hypsometric curve ของแอ่งรับน้ำที่ 28 (เส้นสีแดง) และแสดงค่า HI = 0.3339

จากค่าดัชนีความสูงสมบูรณของแต่ละแอ่ง สามารถแบ่งระดับอายุของแอ่งได้เป็น 3 ระดับ (Strahler, 1952)

- HI < 0.35: Monadnock phase แอ่งเก่าที่ไม่มีกิจกรรมทางธรณีแปรสัณฐาน
- 0.35 < HI < 0.6: Equilibrium Phase แอ่งที่กำลังเข้าสู่สภาพสมดุล
- HI > 0.6: Youthful phase แอ่งใหม่ที่มีกิจกรรมทางธรณีแปรสัณฐานอยู่มาก



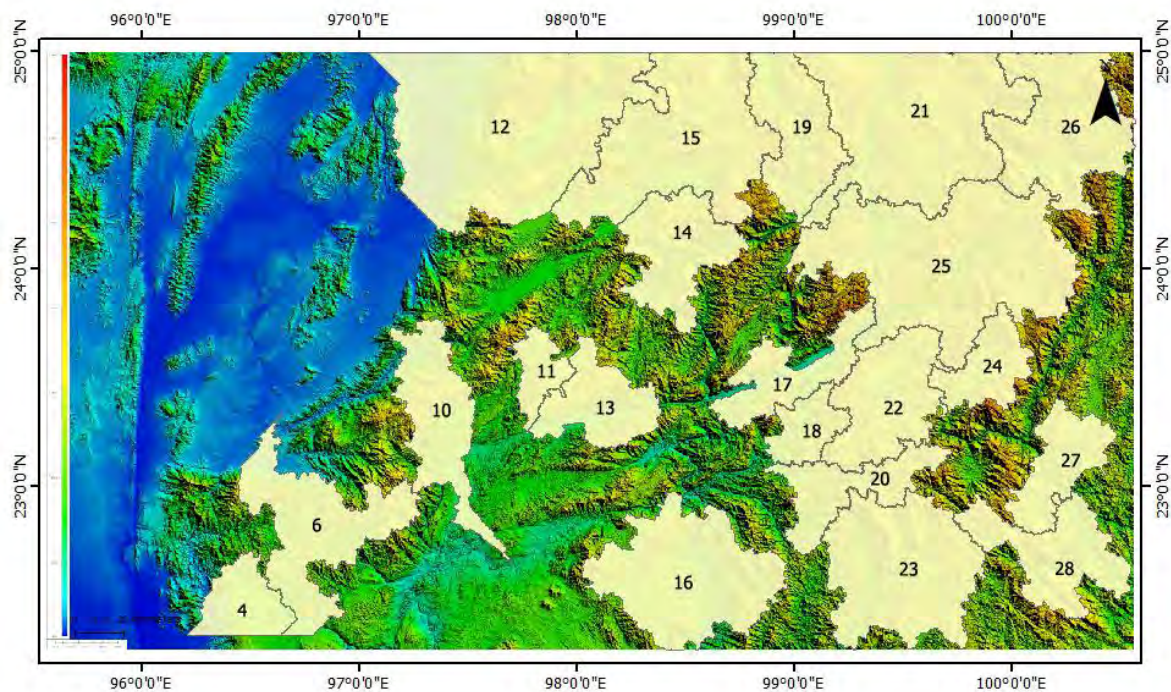
รูป 3.4 แผนที่แสดงค่าดัชนีความสูงสมบูรณของแอ่งในพื้นที่ศึกษา

สามารถแบ่งระดับอายุของแอ่งรับน้ำในพื้นที่ศึกษา พบทั้ง 3 ระดับ (รูป 3.24)

- Monadnock phase (สีเหลือง): คือแอ่งที่ 4, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 27, 28
- Equilibrium phase (สีเขียว): คือแอ่งที่ 16, 19, 21, 25
- Youthful phase (สีแดง): คือแอ่งที่ 23, 26

### 3.3 ดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง (Basin asymmetry Index, T)

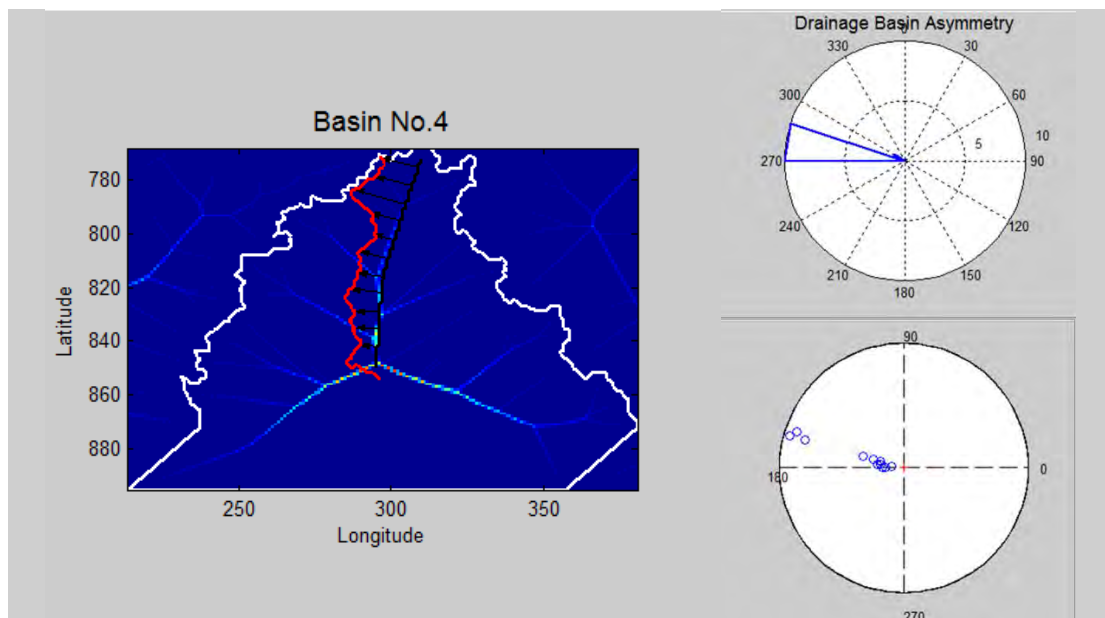
จากการวิเคราะห์ดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง ในแม่น้ำลำดับที่ 6 (Order 6) ได้ข้อมูลของแอ่งรับน้ำที่นำมาใช้ได้จริง 21 แอ่ง ดังนี้ (รูป 3.2)



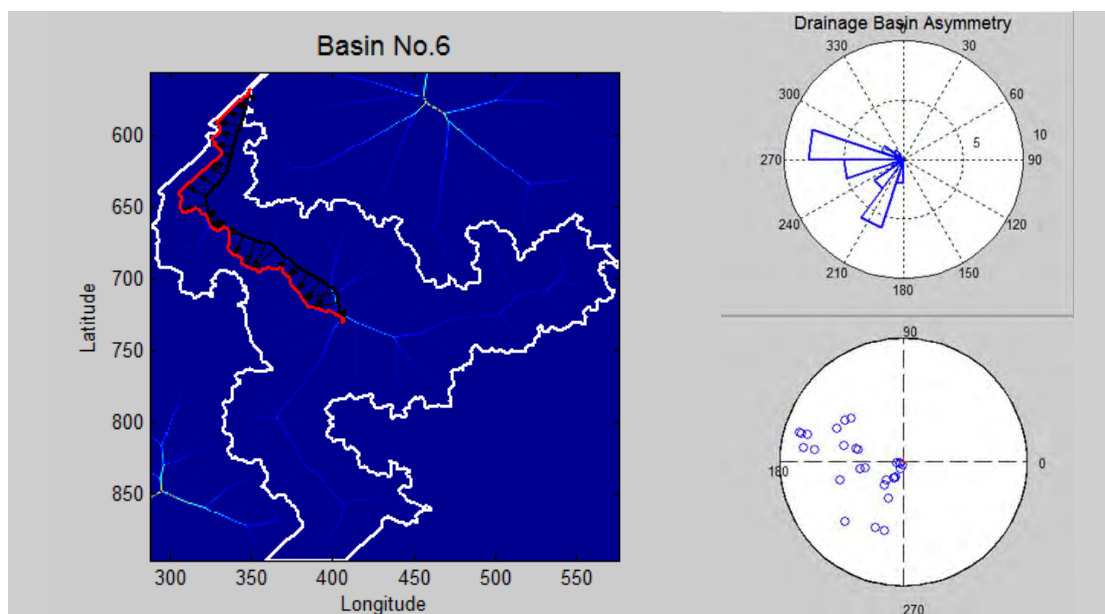
รูป 3.2 แผนที่แสดงแอ่งรับน้ำของแม่น้ำลำดับที่ 6 (Order 6) ในพื้นที่ศึกษา

โดยแต่ละแอ่งแสดงลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งและทิศทางการเอียงเท ตามรูป 3.5

a)



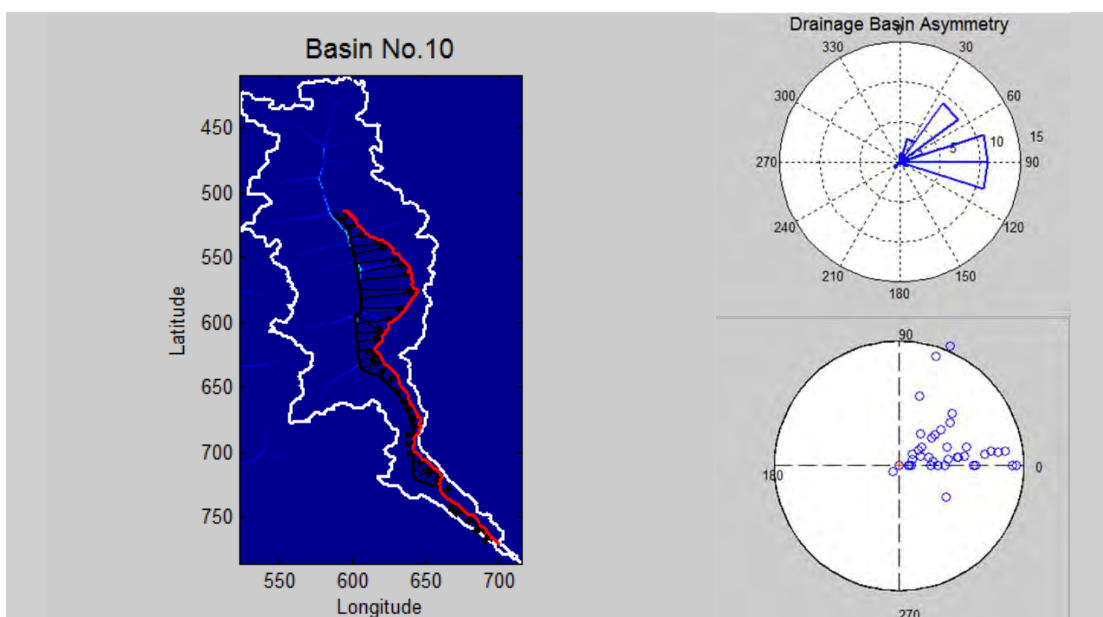
b)



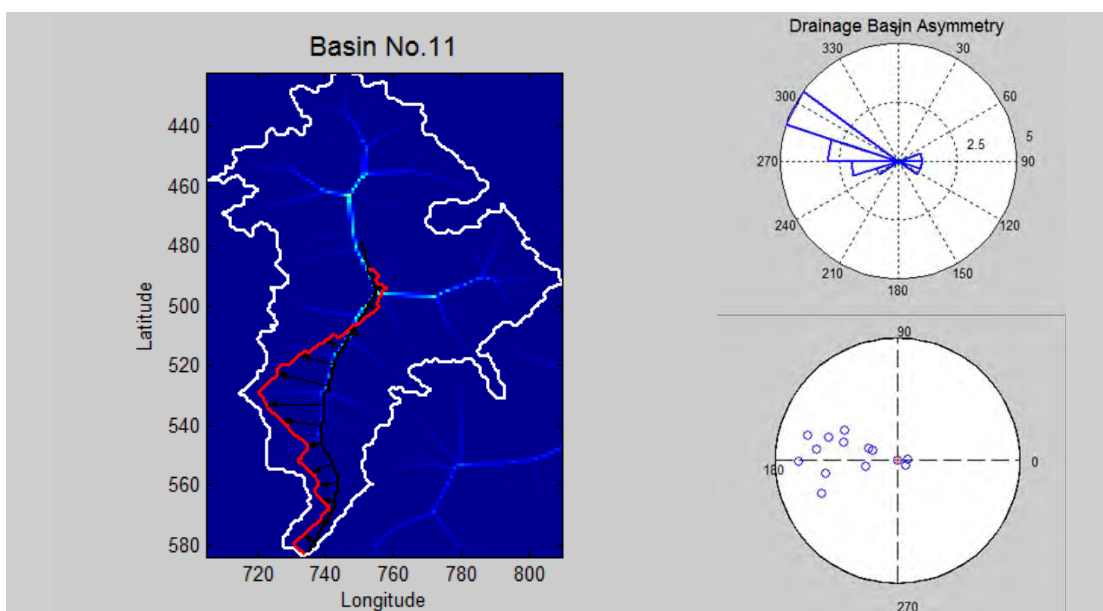
รูป 3.5 รูปแสดง

- ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 4 (T Index) และทิศทางการเอียงเท
- ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 6 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)



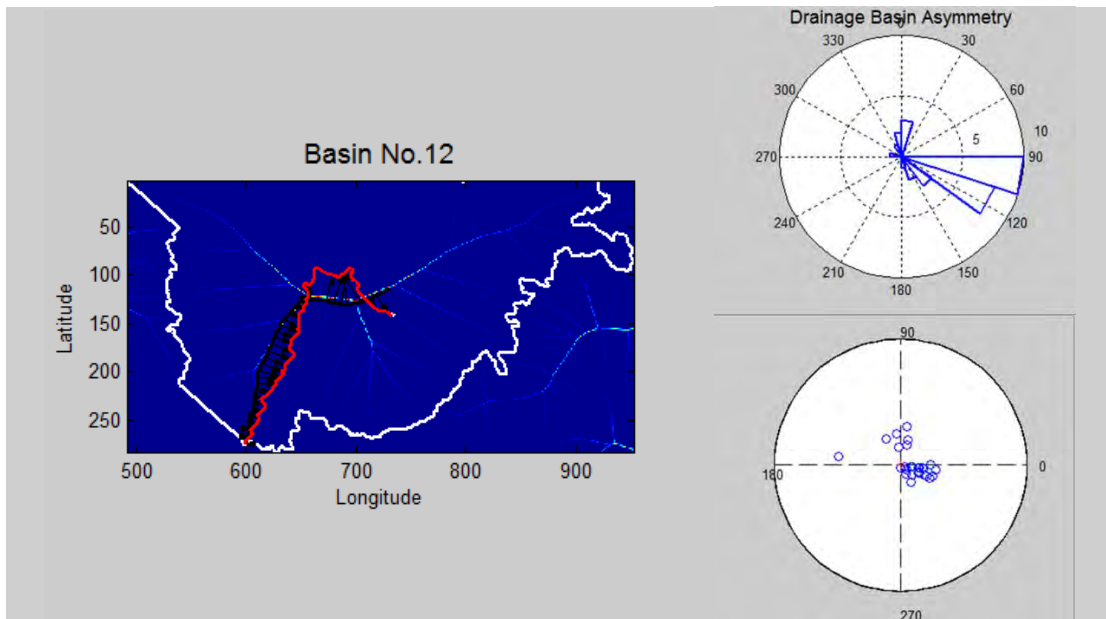
b)



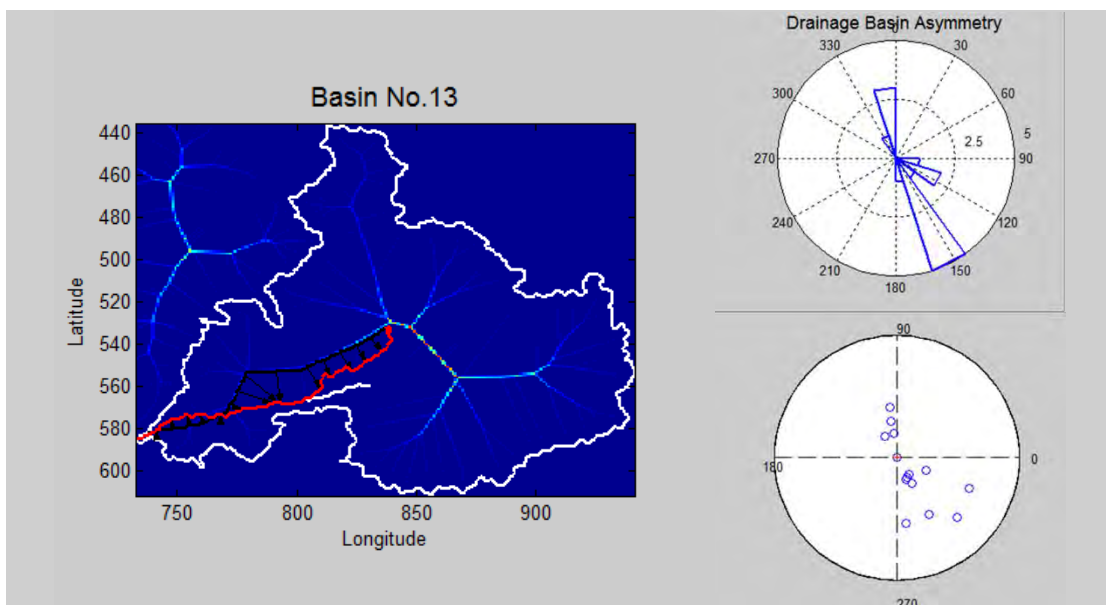
รูป 3.5 รูปแสดง

- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 10 (T Index) และทิศทางการเอียงเท  
b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 11 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)



b)

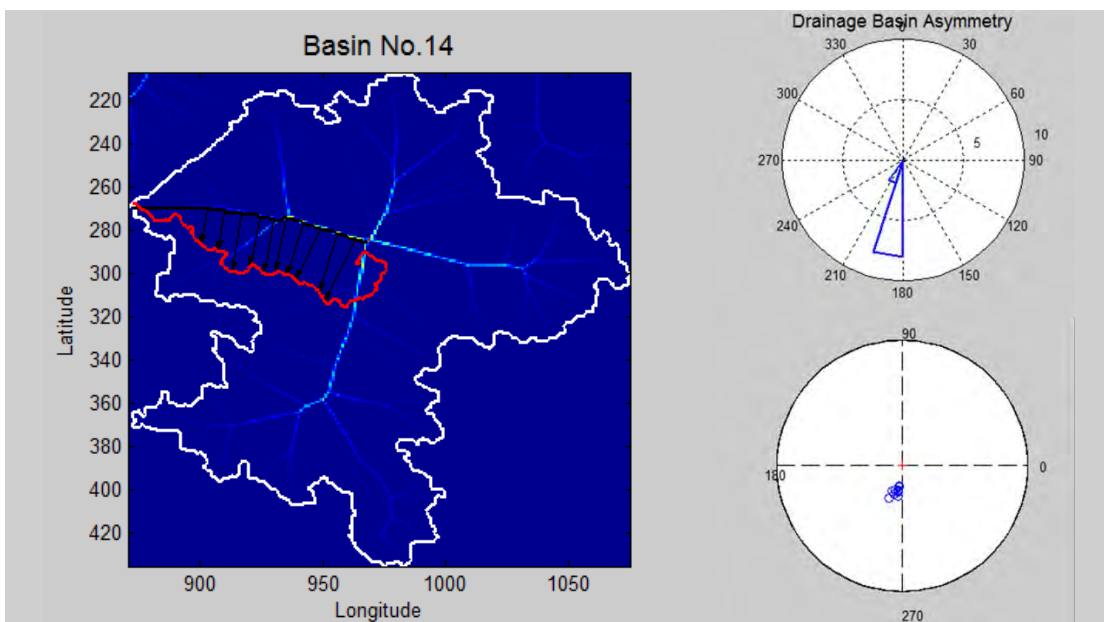


รูป 3.5 รูปแสดง

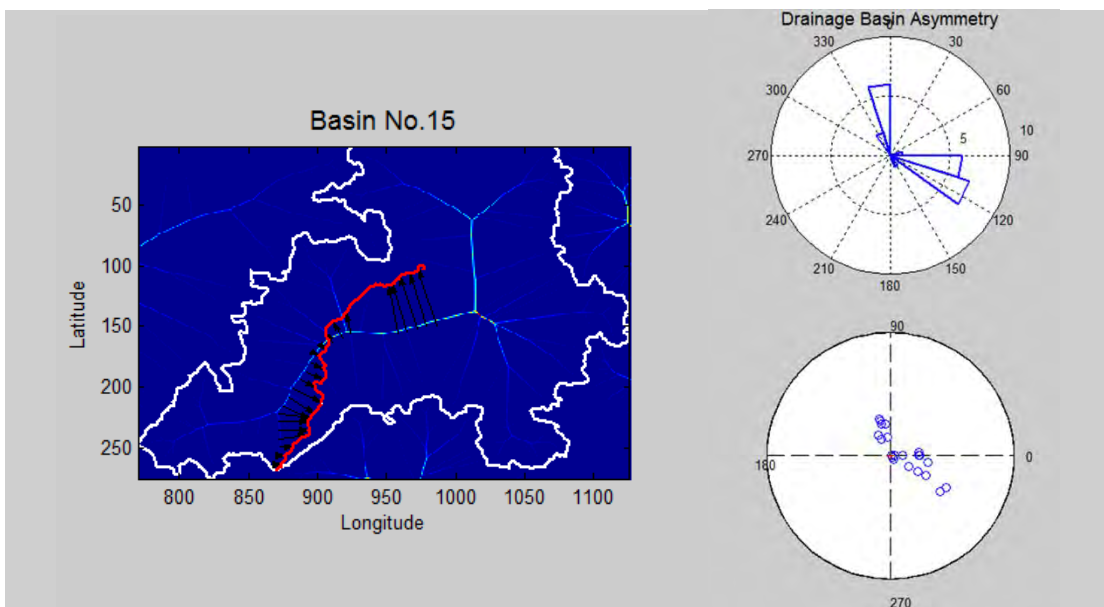
- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 12 (T Index) และทิศทางการเอียงเท  
b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 13 (T Index) และทิศทางการเอียงเท



a)



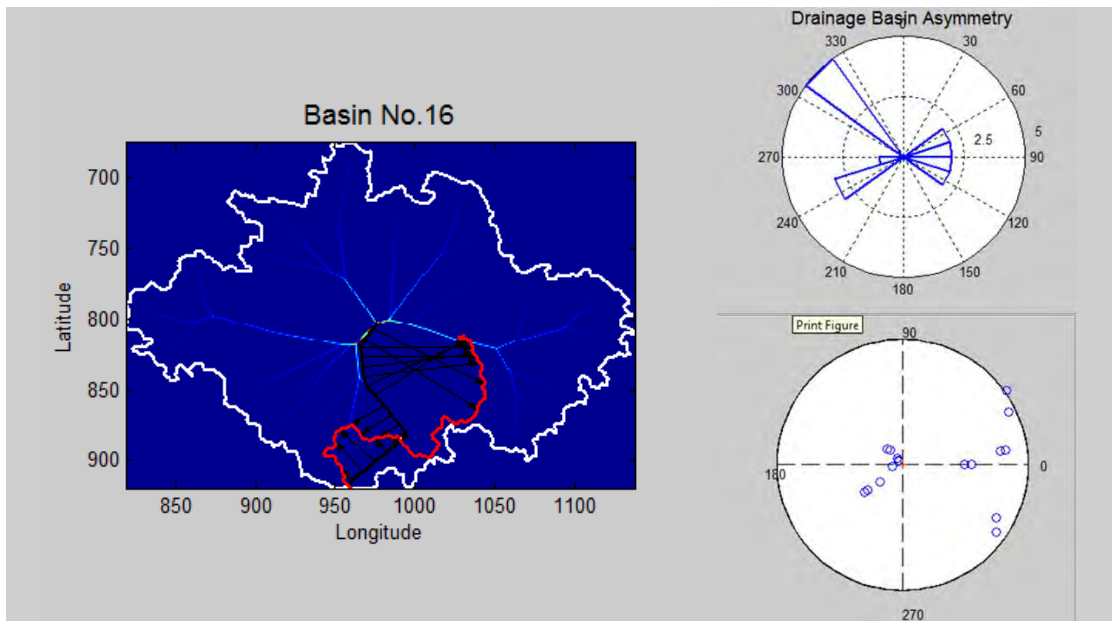
b)



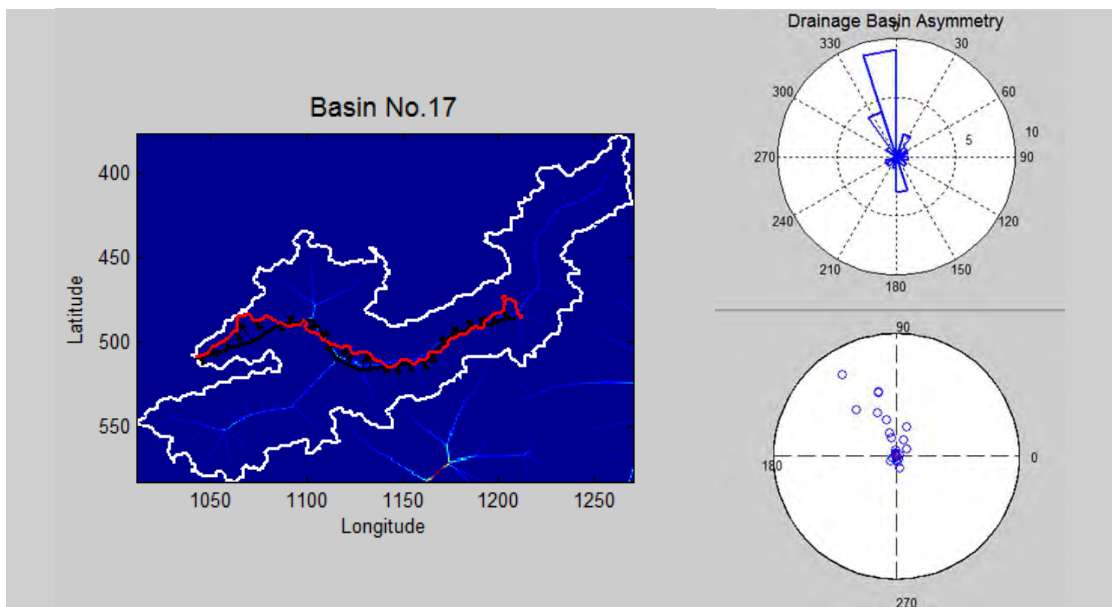
รูป 3.5 รูปแสดง

- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 14 (T Index) และทิศทางการเอียงเท  
 b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 15 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)



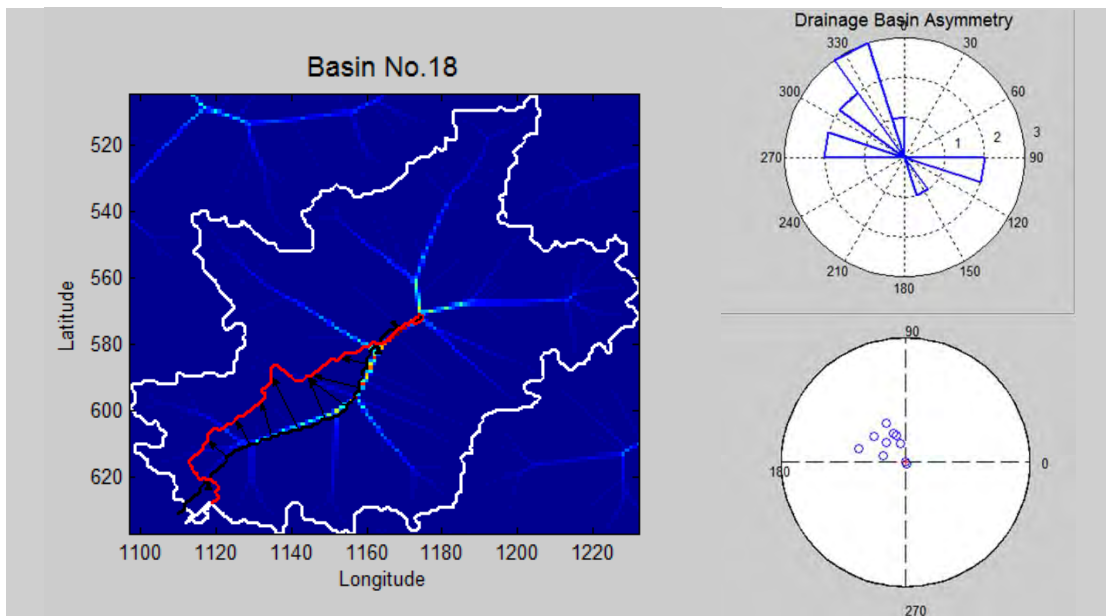
b)



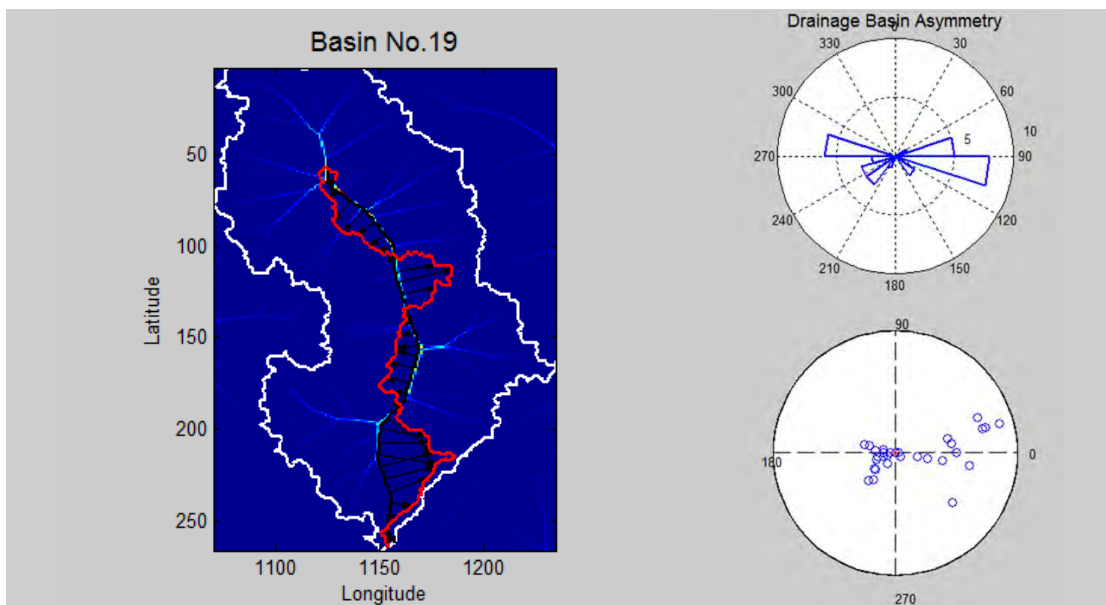
รูป 3.5 รูปแสดง

- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 16 (T Index) และทิศทางการเอียงเท  
 b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 17 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)



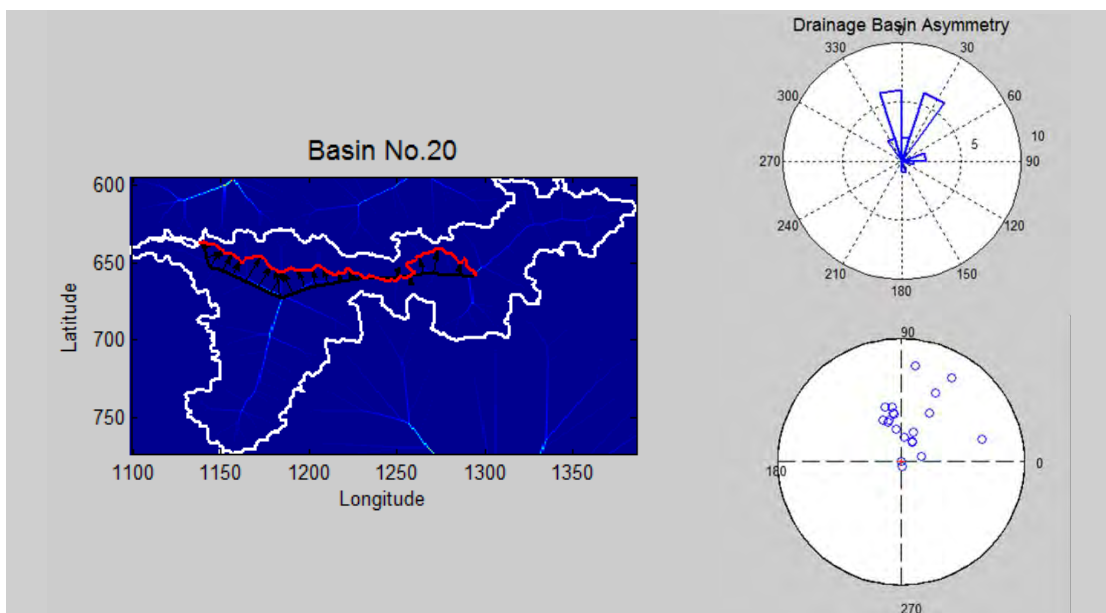
b)



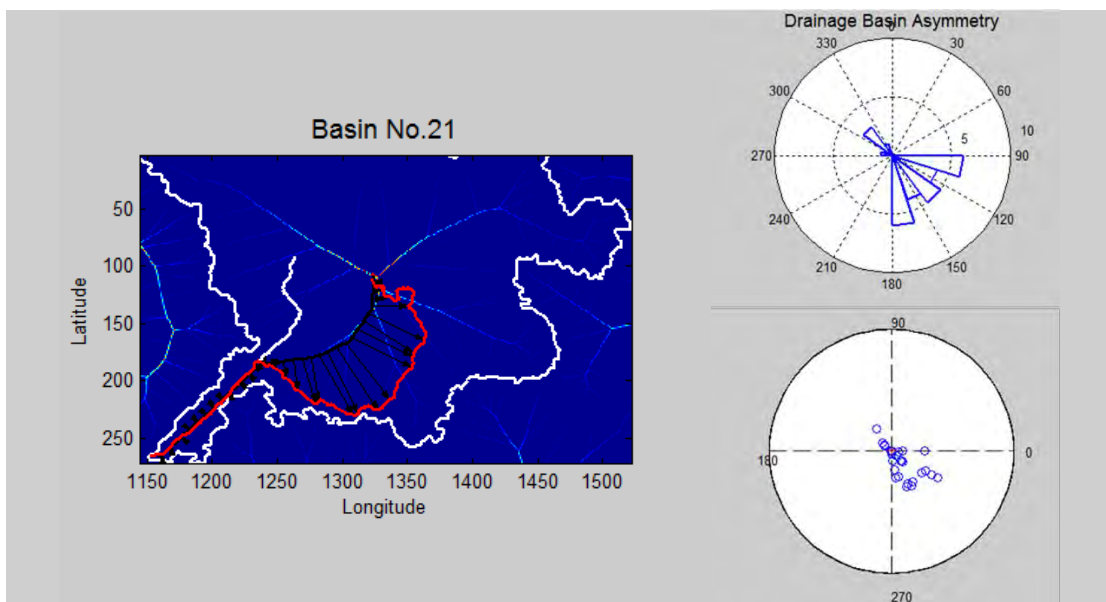
รูป 3.5 รูปแสดง

- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 18 (T Index) และทิศทางการเอียงเท  
b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 19 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)



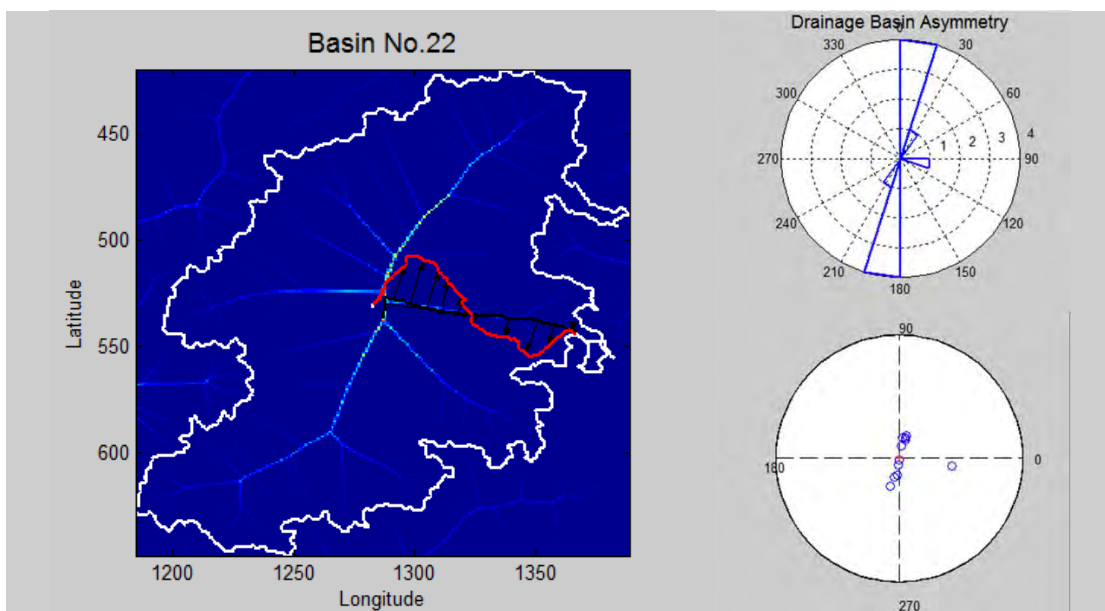
b)



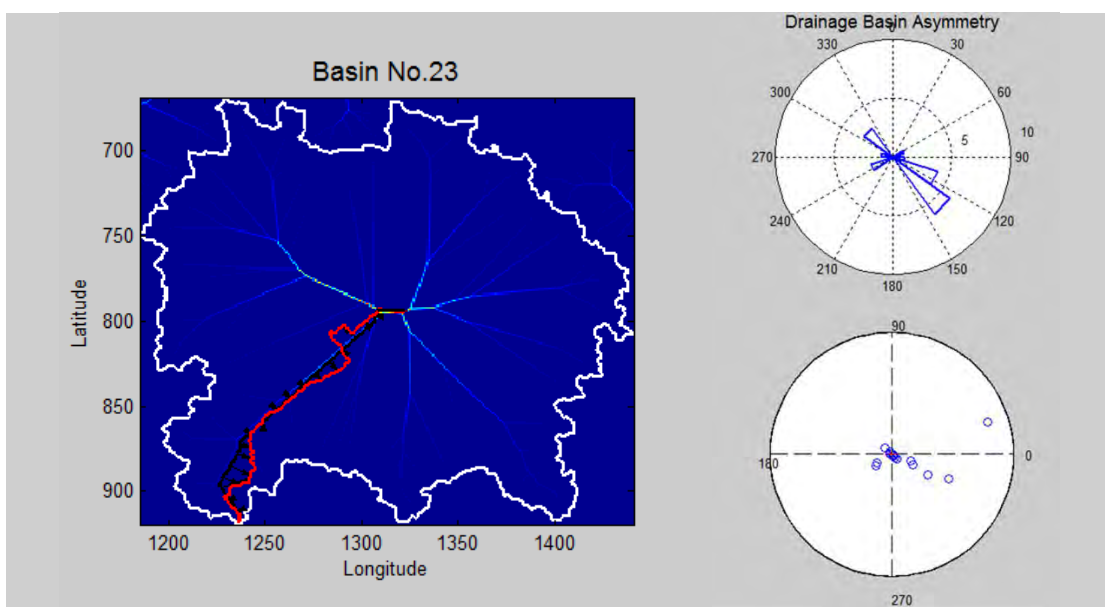
รูป 3.5 รูปแสดง

- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 20 (T Index) และทิศทางการเอียงเท  
b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 21 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)



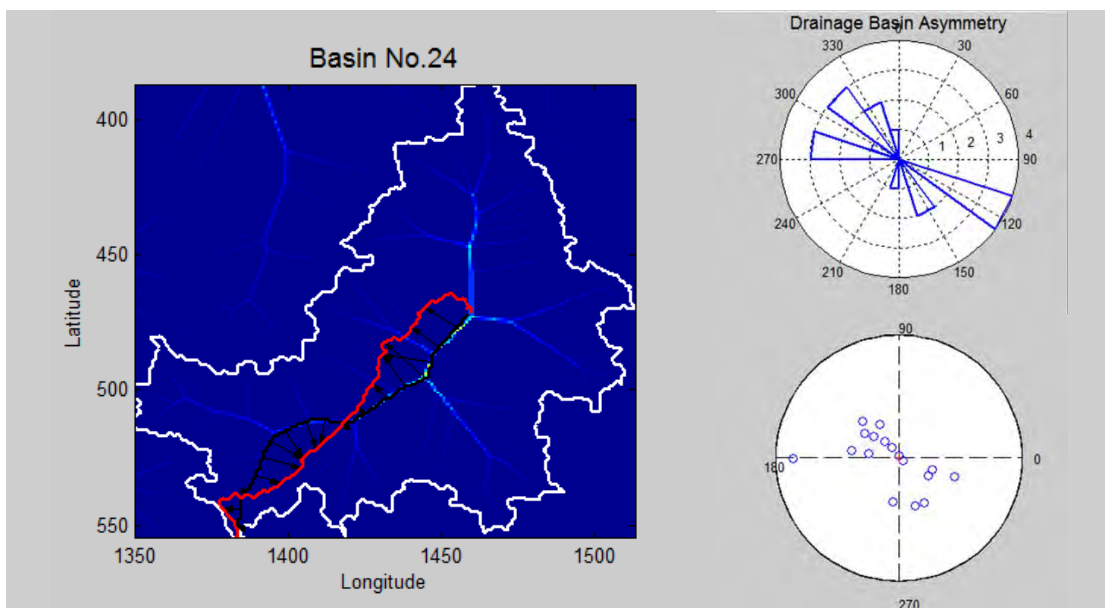
b)



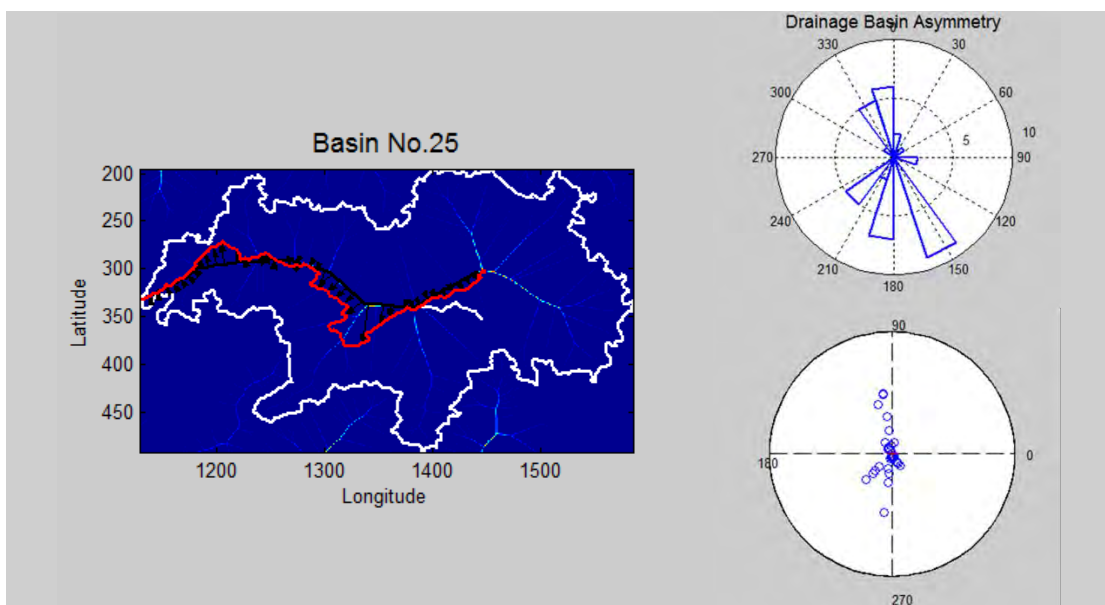
รูป 3.5 รูปแสดง

- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 22 (T Index) และทิศทางการเอียงเท
- b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 23 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)



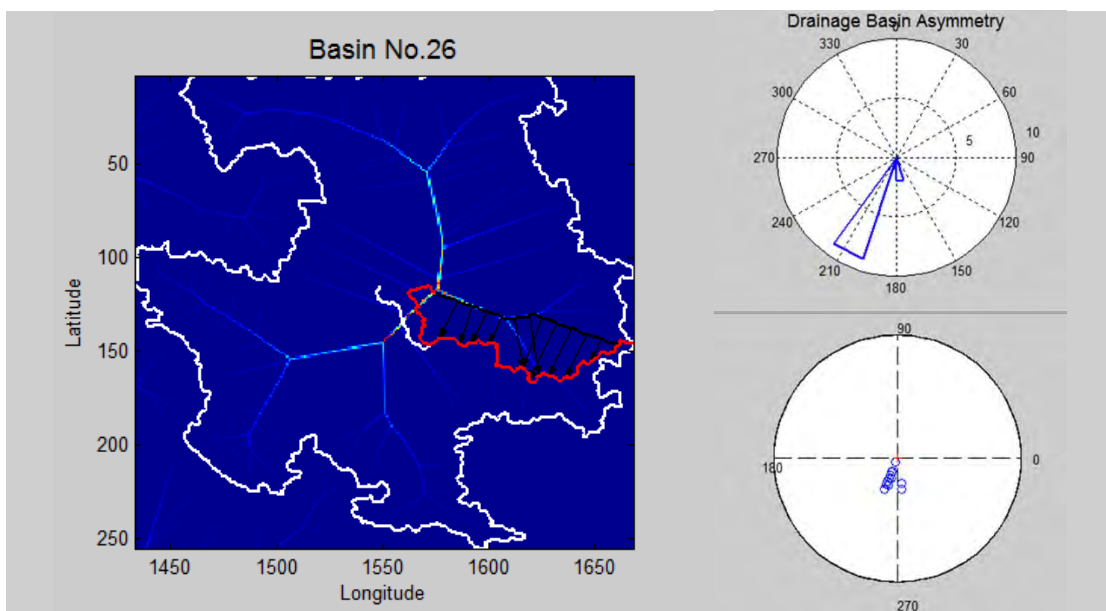
b)



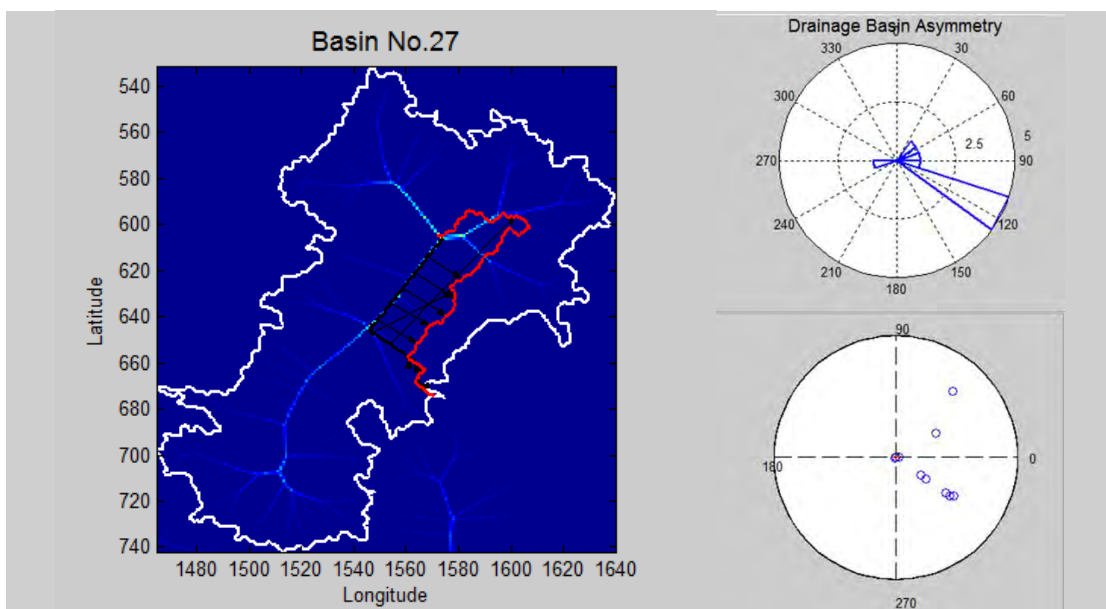
รูป 3.5 รูปแสดง

- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 24 (T Index) และทิศทางการเอียงเท
- b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 25 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)



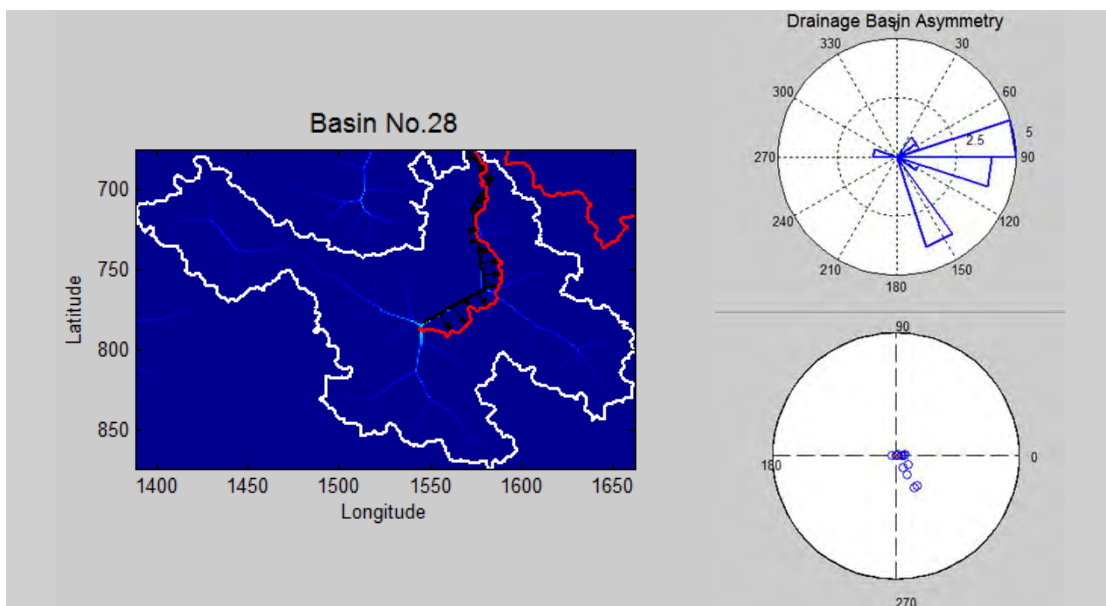
b)



รูป 3.5 รูปแสดง

- (ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 26 (T Index) และทิศทางการเอียงเท  
 b) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 27 (T Index) และทิศทางการเอียงเท

a)

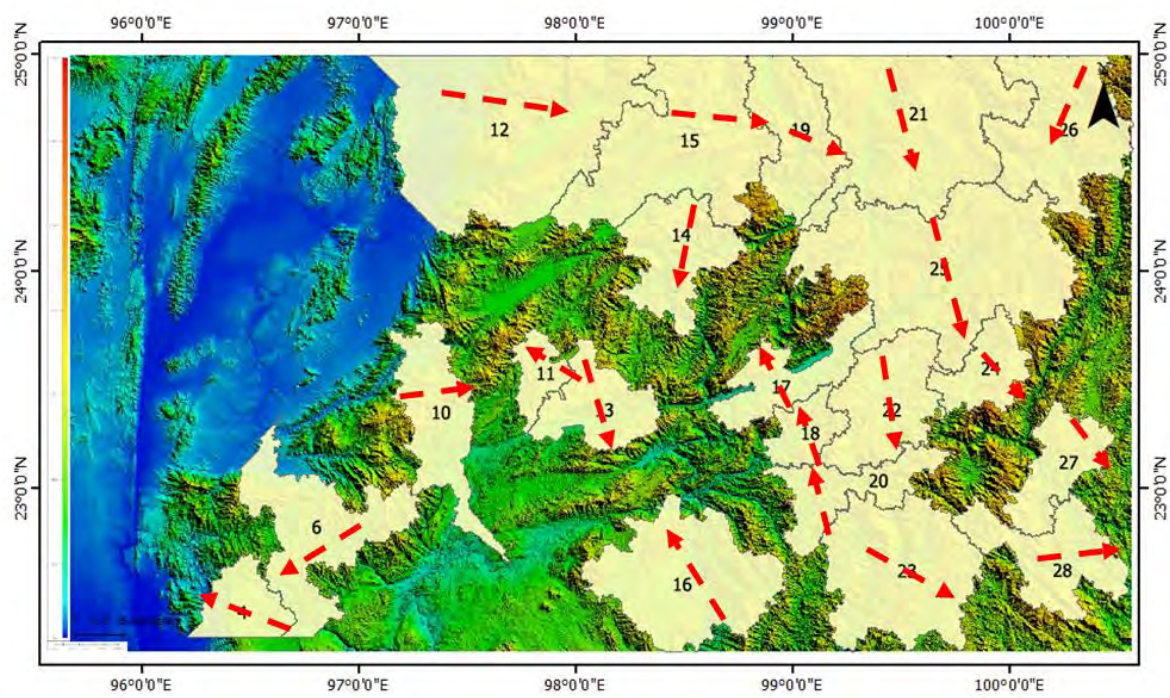


รูป 3.5 รูปแสดง

(ต่อ) a) ลักษณะของความไม่สมมาตรของแอ่งที่ 28 (T Index) และทิศทางการเอียงเท



แอ่งรองรับน้ำทั้งหมดมีทิศทางการเอียงตัวดังนี้



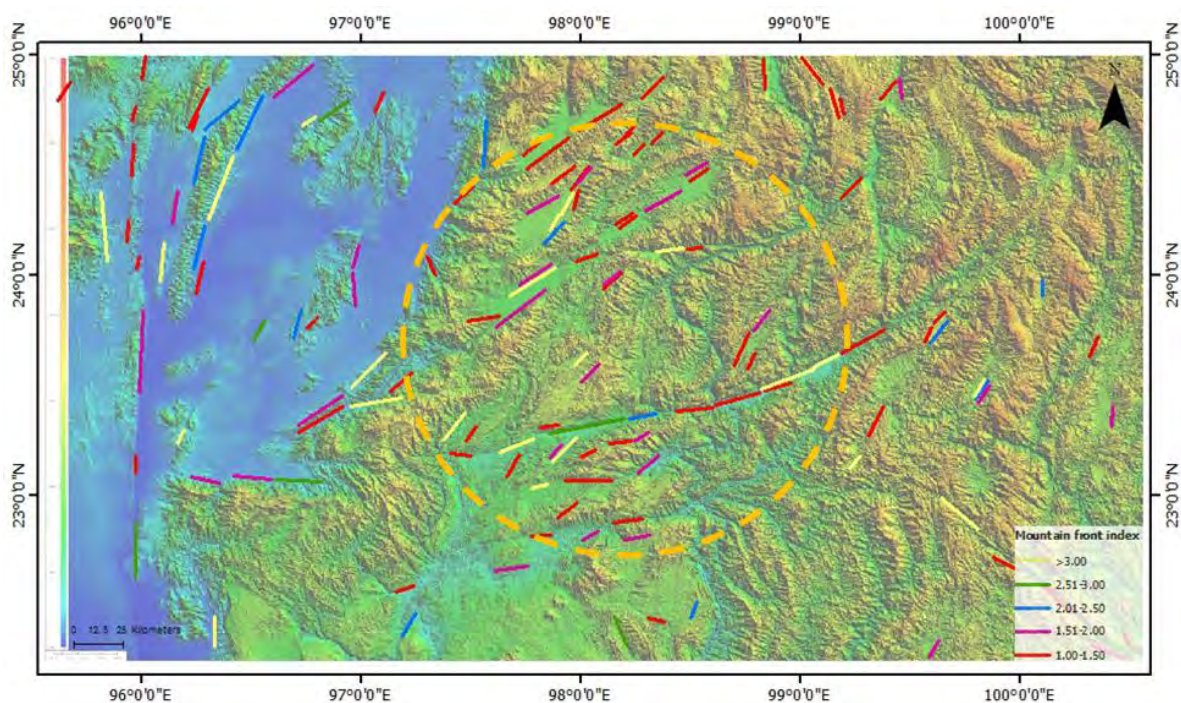
รูป 3.6 แผนที่แสดงทิศทางการเอียงเทของแอ่งรองรับน้ำในพื้นที่ศึกษา

## บทที่ 4

### อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

#### 4.1 อภิปรายผลการวิจัยค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (Mountain front Index Discussion)

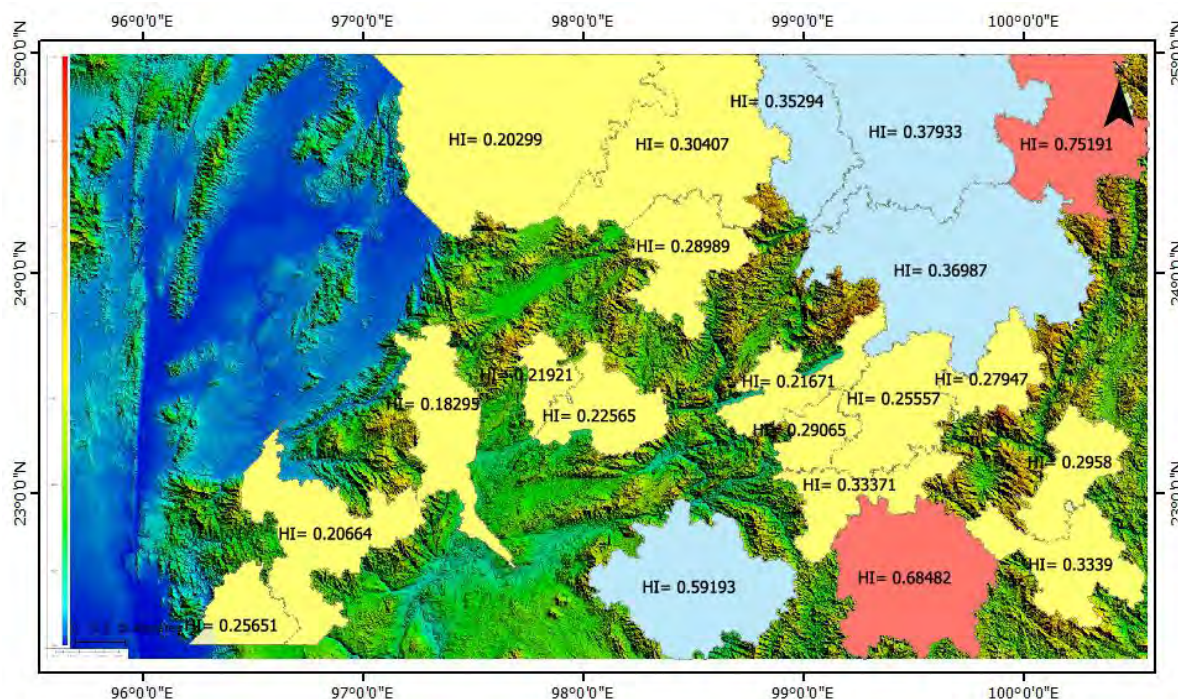
จากผลการวิจัยค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา จะเห็นว่ามีแนวรอยเลื่อนมีพลังกระจายอยู่ทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้ในบริเวณแนวรอยเลื่อนแสนหรือนานติง จะพบมีค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาในช่วง กระจุกตัวมากกว่าบริเวณอื่นในพื้นที่ศึกษา ทั้งฝั่งที่ราบทางตะวันตกและหุบเขาทางตะวันออก ผลที่ได้จากการศึกษาค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาของพื้นที่ศึกษา เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นของการศึกษาพฤติกรรมกระบวนการธรณีแปรสัณฐาน ซึ่งสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการออกภาคสนามเพื่อศึกษาในเชิงลึกให้ละเอียดยิ่งขึ้นได้



รูป 4.1 แผนที่แสดงค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาในบริเวณแนวรอยเลื่อนแสนหรือนานติง

#### 4.2 อภิปรายผลการวิจัยค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง (Hypsometry Index Discussion)

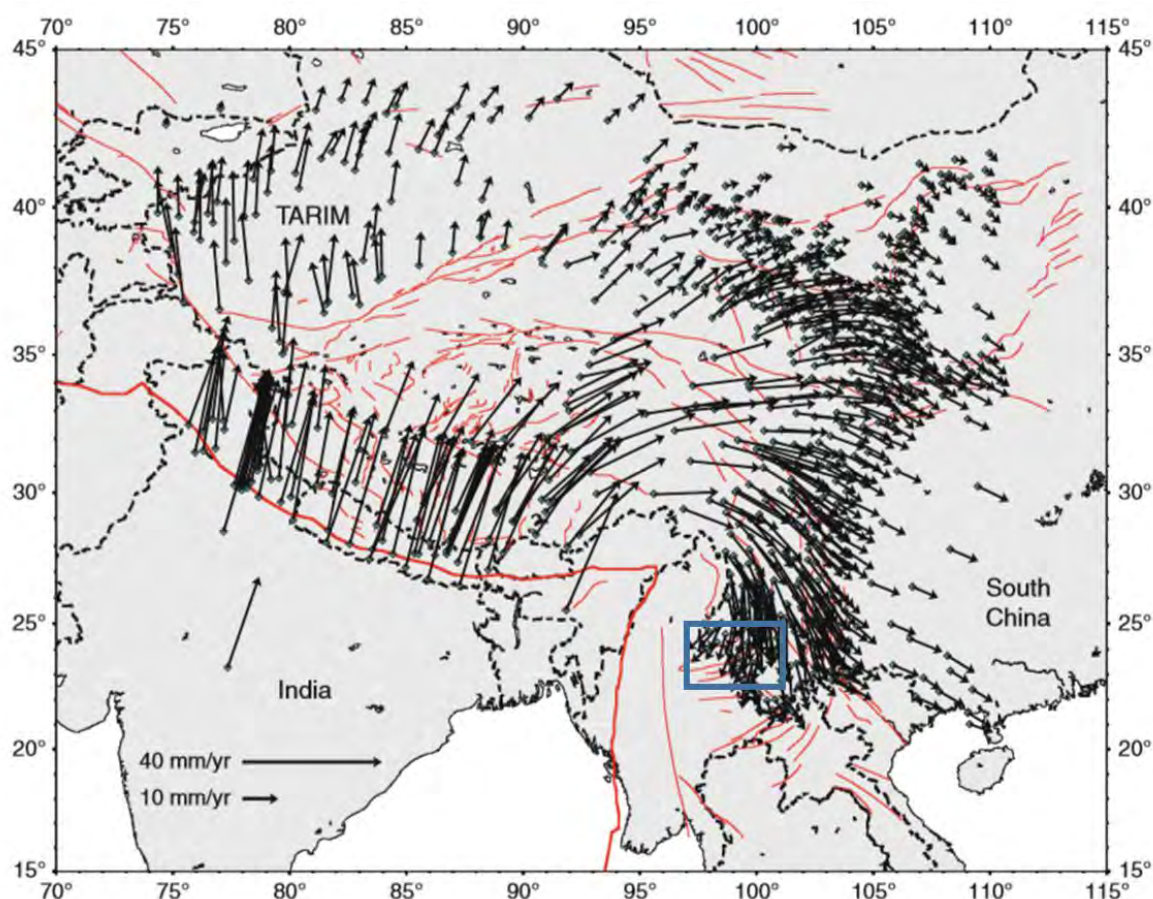
จากผลการวิจัยค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่งสามารถอภิปรายผลจากการวิเคราะห์ค่า Hypsometric Integral และ Hypsometric Curve แอ่งรองรับน้ำในพื้นที่ศึกษามีค่าต่างกันมาก ซึ่งบริเวณหุบเขาทางตะวันออกของพื้นที่ศึกษาจะมีค่ามาก แบ่งออกเป็น 3 สถานะ ตามการศึกษาของ Strahler (1952) โดยมีค่าสัมพันธ์กับรูปร่างลักษณะของของแอ่ง ถ้ามีค่าน้อยก็จะเป็นรูปโค้งเว้า ที่แสดงถึงการมีกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานต่ำ ทั้งนี้ในการศึกษาพบว่าการกระจายของแอ่งรองรับน้ำไม่ทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา เพราะบริเวณที่ราบทางฝั่งตะวันตกมีรูปร่างของแอ่งที่ผิดปกติจึงไม่นำมาคำนวณ และค่าดัชนีที่ได้อาจไม่สัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนเพราะมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา และ การกัดเซาะของร่องน้ำ



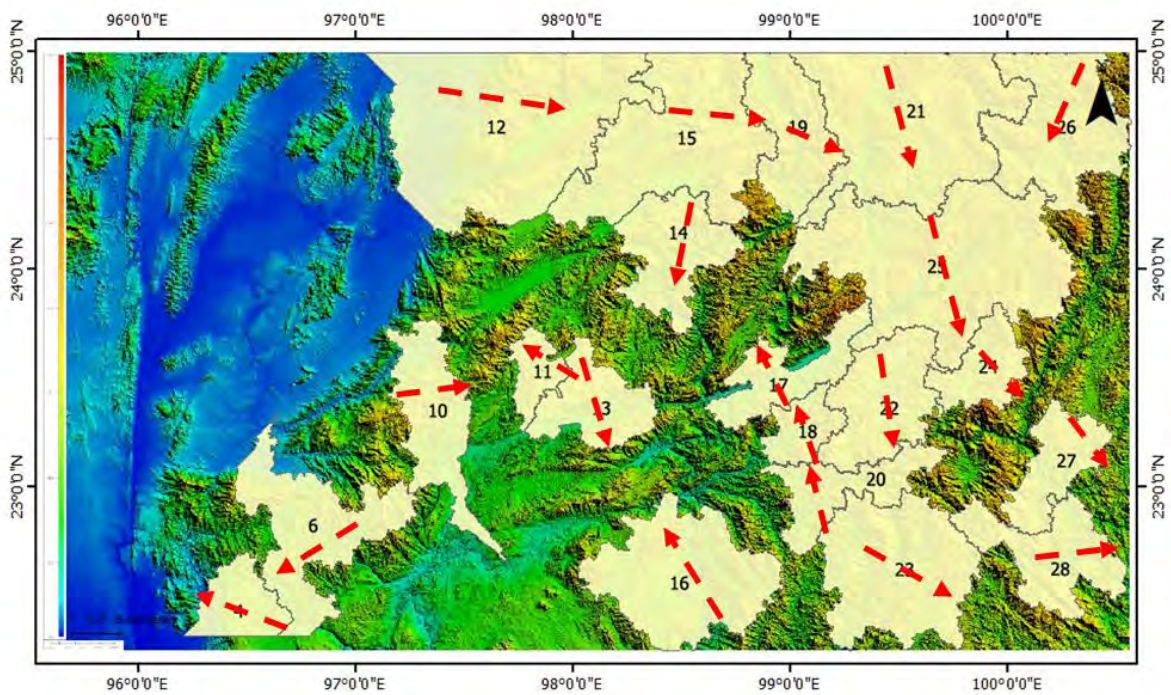
รูป 4.2 แผนที่แสดงค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่งของแต่ละแอ่งรองรับน้ำในพื้นที่ศึกษา

#### 4.3 อภิปรายผลการวิจัยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง (Basin asymmetry Index Discussion)

จากผลการวิจัยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง สามารถอภิปรายแนวโน้มของทิศทางการเอียงเทของแอ่งรองรับน้ำในพื้นที่ศึกษา ทางฝั่งตะวันออกของพื้นที่ศึกษาแอ่งรองรับน้ำจะมีทิศทางการเอียงตัวไปในแนวเกือบเหนือ-ใต้ และทางฝั่งตะวันออกมีทิศในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกตามการศึกษาของ Freymueller (2011) ทั้งนี้ในการศึกษาพบว่ามีการกระจายของแอ่งรองรับน้ำไม่ทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา เพราะบริเวณที่ราบทางฝั่งตะวันตกมีรูปร่างของแอ่งที่ผิดปกติจึงไม่นำมาคำนวณ และค่าดัชนีที่ได้อาจไม่สัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนเพราะมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา และ การกัดเซาะของร่องน้ำ



รูป 4.3 แผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (Freymueller, 2011) ในกรอบแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษา

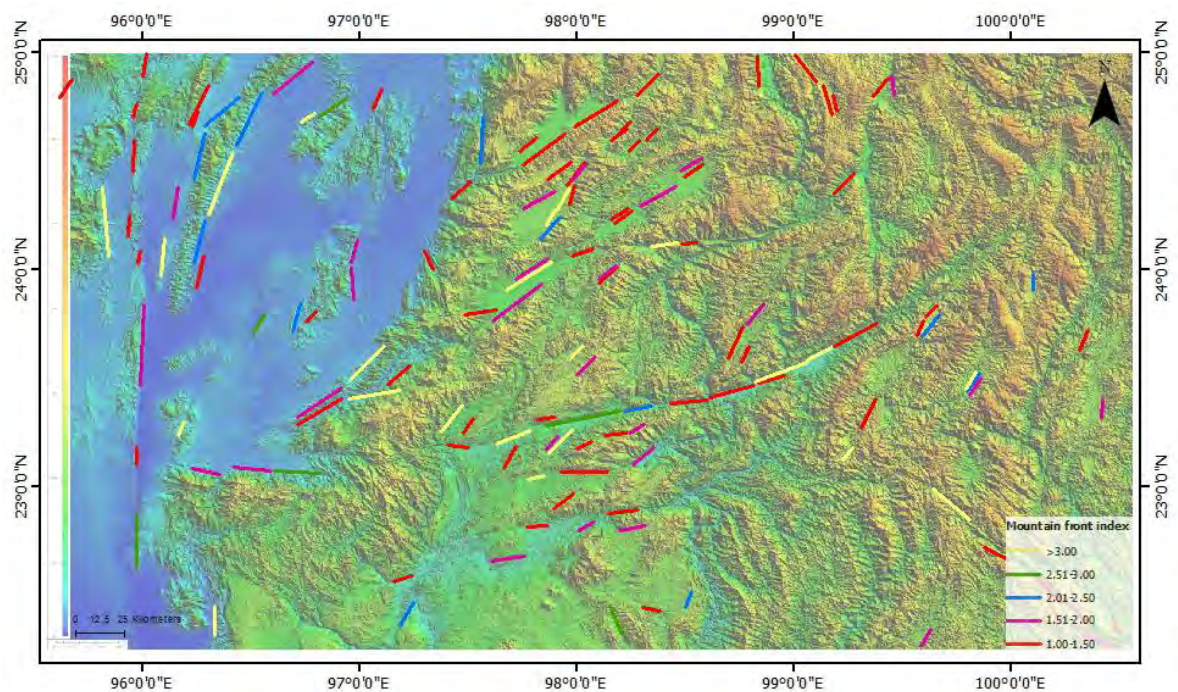


รูป 4.4 แผนที่แสดงทิศทางการเรียงตัวของแอ่งรองรับน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษา

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

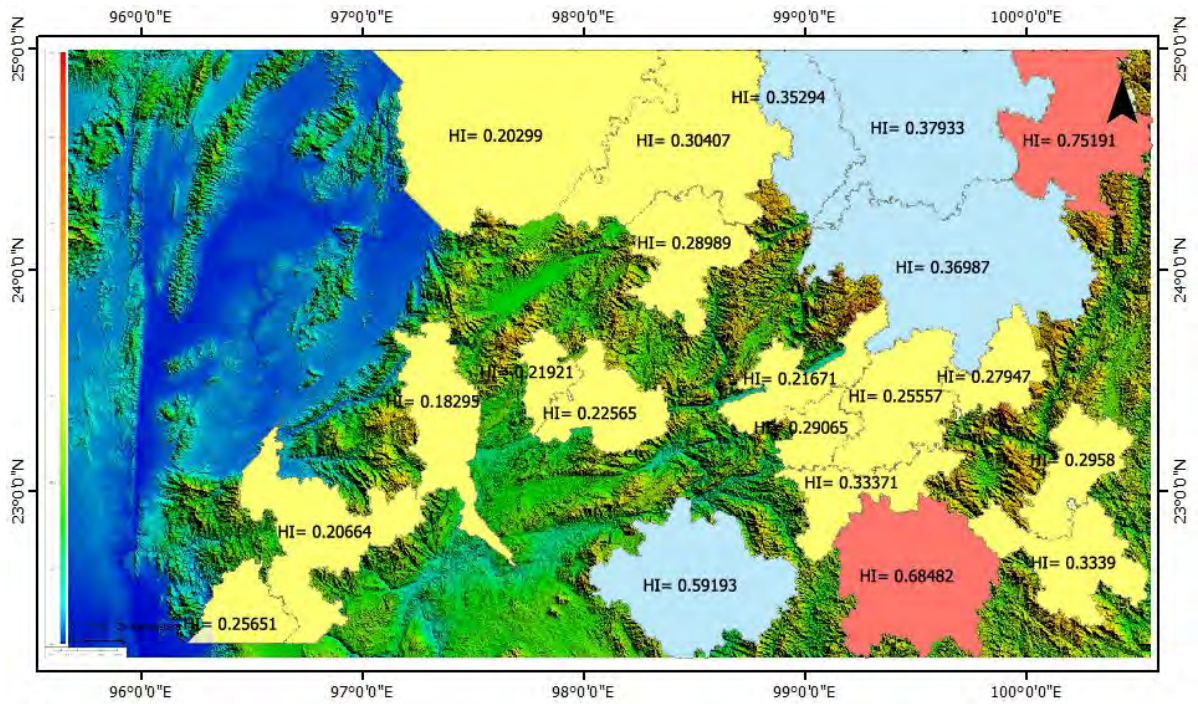
#### 5.1 สรุปผลการวิจัยค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (Mountain front Index Conclusion)



รูป 5.1 แผนที่แสดงค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาในพื้นที่ศึกษา

จากผลการวิจัยค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาพบแนวรอยเลื่อนมีพลังในพื้นที่ศึกษาที่มีค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขาที่มีค่าในช่วง 1.0-1.5 รวมถึงแนวรอยเลื่อนแสนหวิ-นานติง ซึ่งมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวที่สามารถส่งผลกระทบต่อบริเวณตอนเหนือของประเทศไทยได้

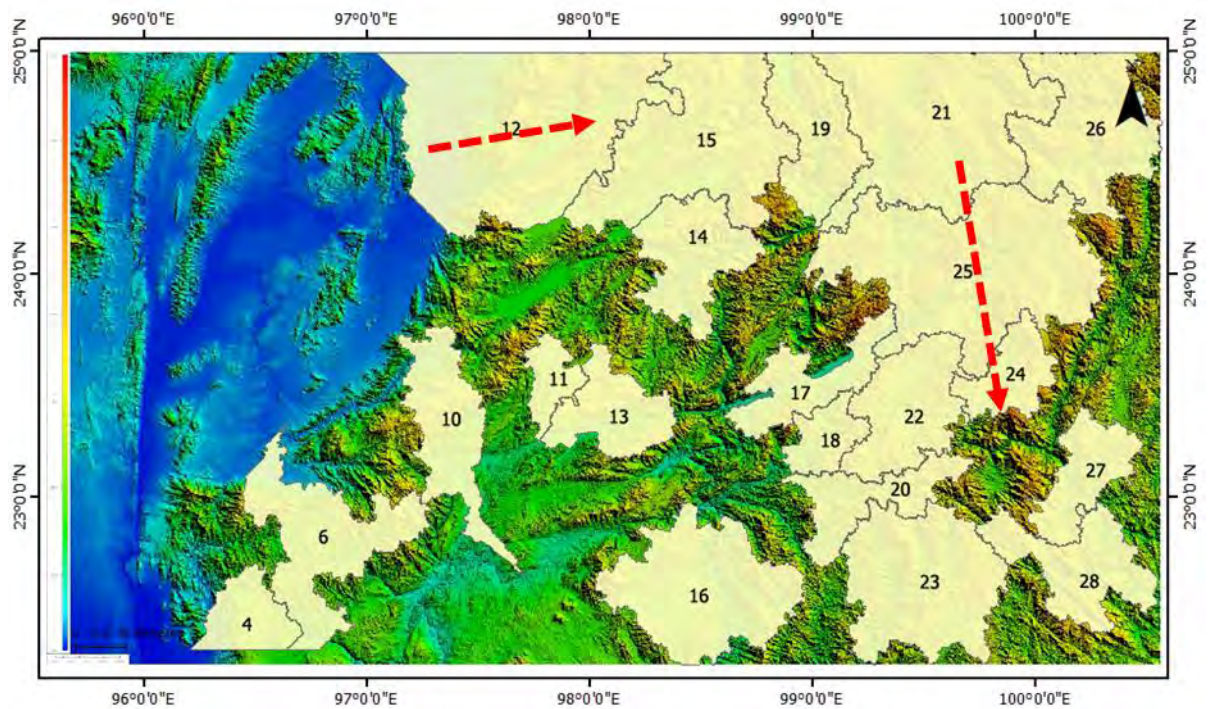
## 5.2 สรุปผลการวิจัยค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่ง (Hypsometry Index Conclusion)



รูป 5.2 แผนที่แสดงค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่งในพื้นที่ศึกษา

จากผลการวิจัยค่าดัชนีความสูงสัมบูรณ์ของแอ่งในบริเวณด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ยังเป็นบริเวณที่มีกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานมากกว่าทางฝั่งตะวันตกที่เป็นบริเวณที่อยู่ในสถานะที่เสถียร(ไม่มีกิจกรรม)

### 5.3 สรุปผลการวิจัยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง (T Index Conclusion)



รูป 5.3 แผนที่แสดงทิศทางการเรียงตัวหลักของแอ่งรองรับน้ำในพื้นที่ศึกษา

จากผลการวิจัยค่าดัชนีความไม่สมมาตรของแอ่ง บริเวณฝั่งตะวันออกของพื้นที่ศึกษามีแรงมากระทำกับพื้นที่ในแนวเกือบ N-S ส่วนทางฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษาตอนบนจะมีแรงมากระทำในแนวเกือบ E-W



### เอกสารอ้างอิง (References)

- Cox, R.T., 1994, **Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify area of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment.** Bulletin of the Geological Society of America 106, 571-581.
- Garrote, J., Cox, R.T., Swann, C., Ellis, M., 2006, **Tectonic geomorphology of the southeastern Mississippi Embayment in northern Mississippi, USA.** Bulletin of the Geological Society of America 118, 1160-1170.
- Garrote, J., Heydt, G.G., Cox, R.T., 2008, **Multi-stream order analyses in basin asymmetry: a tool to discriminate the influence of neotectonics in fluvial landscape development (Madrid Basin, Central Spain).** Geomorphology 102 (1), 130-144.
- Hack J. (1973). **Stream profile analysis and stream gradient index,** U. S. Geol. Surv. J. Res. 4: 421–429.
- Kaewmuangmoon, S., Thipyopass, S., Kosuwan, S., Daorerk, V. and Charusiri, P. (2008). **Investigations on Tectonic Geomorphology along the Khlong Marui Fault, Kao Phanom area, Southern Thailand: Application of ArcGIS Approach.** Proceedings of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008), Bangkok, Thailand. 24-26 November 2008. pp. 126-129.
- Keller, E.A. and Pinter, N. (1996). **Active Tectonics : Earthquakes, Uplift and Landscape.** Prentice Hall, New Jersey.
- Langbein, W.B., 1947, **Topographic characteristics of drainage basins,** USGS Water Supply Paper 968-B, p. 125-157
- Perez-Pena, J.V., Azanon, J.M., Azor, A., 2009, **CalHypso: an ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain.** Computers & Geosciences 35 (6), 1214-1223.
- Sarp, G., Gecen, R., Toprak, V. and Duzgun, S. (2011). **Morphotectonic Properties of Yenicaga Basin Area in Turkey.** Proceedings of the 34<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment, Sydney, Australia, 10-15 April 2011.

- Shahzad, F., 2011, TecDEM: A MATLAB based toolbox for tectonic geomorphology, Part 2: Surface dynamics and basin analysis. Computers & Geosciences 37 (2011), 261-271.
- Strahler, A.N., 1952, Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America 63, 1117-1142.
- Zovoili, E., Konstantinidi, E. and Koukouvelas, I.K. (2004). Tectonic Geomorphology of Escarpments: The Cases of Kompotades faults and Nea Anchialos faults. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Congress, Thessaloniki, April 2004. pp. 16-25.

ภาคผนวก  
(Appendix)

ตารางข้อมูลค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา

Fault	ความยาว( $L_s$ , km)	Contour	ความยาว( $L_{ms}$ , km)	ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา( $S_{mf}$ )
1	45.113294	1	75.962221	1.68381012
2	39.65243	2	108.445785	2.734908932
3	38.108359	3	122.412379	3.212218584
4	36.805826	4	134.130327	3.644268899
5	35.89519	5	73.800435	2.055997893
6	32.246967	6	54.968603	1.704613119
7	32.036005	7	77.720124	2.426024219
8	21.471341	8	68.973892	3.212370015
9	29.597244	9	74.904701	2.530799861
10	28.068292	10	96.575297	3.44072582
11	28.673739	11	181.130078	6.316932647
12	17.892261	12	35.117311	1.96270952
13	27.44037	13	47.301763	1.723801939
14	27.067363	14	64.653103	2.38859999
15	27.112552	15	35.273777	1.301012793
16	27.068799	16	50.395669	1.861762282
17	26.849933	17	120.027653	4.470314805
18	26.453178	18	31.187222	1.178959367
19	26.349538	19	29.596438	1.123224172
20	25.950655	20	83.117588	3.20290906
21	25.856933	21	63.640215	2.46124376
22	25.317503	22	33.682031	1.330385188
23	25.122634	23	32.754634	1.303789802

Fault	ความยาว( $L_s$ , km)	Contour	ความยาว( $L_{ms}$ , km)	ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา( $S_{mi}$ )
24	24.093494	24	60.066299	2.493050572
25	23.950761	25	32.497127	1.356830666
26	23.945125	26	57.755285	2.411985112
27	23.952025	27	48.864773	2.040110304
28	23.551313	28	34.530549	1.466183605
29	23.32637	29	63.16133	2.707722205
30	23.294229	30	31.944526	1.371349359
31	11.033364	31	16.162367	1.464863028
32	21.438258	32	35.387655	1.650677728
33	19.938103	33	25.165024	1.262157388
34	19.946878	34	32.014252	1.604975576
35	19.55912	35	30.958782	1.582831027
36	19.277084	36	28.129015	1.459194503
37	19.299242	37	31.878079	1.651778811
38	19.158137	38	48.143676	2.512962299
39	18.919512	39	64.068938	3.38639485
40	18.830231	40	22.130597	1.175269544
41	18.701149	41	22.279463	1.191341933
42	18.488332	42	23.061505	1.247354548
43	18.091176	43	56.548518	3.125751361
44	18.05527	44	27.258356	1.50971744
45	18.080887	45	49.508799	2.738184194
46	18.005806	46	34.496202	1.915837703
47	17.972035	47	29.589965	1.64644488
48	17.720399	48	65.100877	3.673781668
49	17.405395	49	26.112038	1.500226683

Fault	ความยาว( $L_s$ , km)	Contour	ความยาว( $L_{ms}$ , km)	ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา( $S_{mi}$ )
50	17.04035	50	19.608194	1.150691975
51	16.792214	51	20.356166	1.212238362
52	16.846748	52	28.757895	1.707029452
53	16.729441	53	23.264198	1.390614187
54	16.36666	54	23.279646	1.422382209
55	16.291216	55	48.319797	2.96600309
56	16.17321	56	32.831742	2.030007772
57	16.04256	57	38.928783	2.426594197
58	15.958046	58	20.858114	1.307059398
59	15.856868	59	39.037327	2.461856087
60	15.780179	60	50.109183	3.175450861
61	15.619841	61	18.989811	1.215749315
62	15.603113	62	18.87876	1.209935479
63	12.207884	63	32.170165	2.635195829
64	15.234322	64	19.164279	1.257967306
65	15.173979	65	15.63365	1.030293373
66	14.99749	66	36.149699	2.410383271
67	14.868288	67	32.768083	2.203890791
68	14.586987	68	26.216389	1.797244969
69	14.549095	69	32.892497	2.260793335
70	14.278249	70	29.41424	2.060073333
71	14.287875	71	24.244761	1.696876617
72	14.121313	72	18.6624	1.321576825
73	13.987645	73	43.601649	3.117154389
74	13.94681	74	17.136401	1.228696813
75	13.789393	75	16.084009	1.166404424

Fault	ความยาว( $L_s$ , km)	Contour	ความยาว( $L_{ms}$ , km)	ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา( $S_{mi}$ )
76	13.729915	76	16.611716	1.209892122
77	13.699256	77	64.194019	4.685949295
78	13.60243	78	31.655089	2.327164264
79	13.484456	79	16.869707	1.251048392
80	13.506457	80	22.034244	1.631385936
81	13.413052	81	20.788893	1.549900276
82	13.242227	82	20.412815	1.541494116
83	12.987517	83	15.361086	1.18275772
84	12.93747	84	28.626633	2.21269174
85	12.78144	85	20.209853	1.581187487
86	12.593911	86	24.917704	1.978551699
87	12.578084	87	18.177502	1.445172572
88	12.505635	88	27.858049	2.2276397
89	12.535806	89	16.707567	1.332787617
90	12.346214	90	26.760523	2.167508436
91	12.137987	91	17.371141	1.431138541
92	12.024418	92	28.424184	2.363871915
93	11.757964	93	15.762851	1.340610585
94	11.700899	94	17.032945	1.455695413
95	11.646994	95	12.133153	1.041741157
96	8.360354	96	9.72643	1.163399301
97	11.553684	97	13.211838	1.14351734
98	11.551678	98	14.932876	1.292701891
99	11.568669	99	25.296512	2.186639794
100	11.510789	100	13.269878	1.152820888
101	11.469567	101	15.051262	1.312278136

Fault	ความยาว( $L_s$ , km)	Contour	ความยาว( $L_{ms}$ , km)	ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา( $S_{mi}$ )
102	11.48156	102	13.709431	1.19403905
103	11.365339	103	21.875039	1.924715048
104	11.327764	104	15.087216	1.331879442
105	11.259837	105	19.166542	1.702204215
106	11.209885	106	22.470645	2.004538405
107	11.086342	107	21.723366	1.959471032
108	11.04366	108	16.490464	1.493206419
109	10.81251	109	13.195128	1.22035753
110	10.799742	110	16.004607	1.481943458
111	10.721028	111	35.556724	3.316540541
112	10.592215	112	12.446408	1.175052432
113	10.52559	113	18.688086	1.77549059
114	10.453508	114	15.175579	1.451721183
115	10.369589	115	22.948178	2.213026765
116	10.279803	116	10.805403	1.051129384
117	10.214631	117	47.127143	4.613690206
118	10.163315	118	22.244981	2.188752489
119	10.132279	119	17.57985	1.735034142
120	9.846035	120	17.056581	1.732329918
121	9.701962	121	11.969468	1.233716232
122	9.497527	122	12.365637	1.301984927
123	9.400328	123	12.3541	1.3142201
124	9.395903	124	15.918754	1.694222897
125	9.300149	125	21.523451	2.314312491
126	9.123586	126	9.530276	1.044575675
127	9.062947	127	12.354835	1.363224898



Fault	ความยาว( $L_s$ , km)	Contour	ความยาว( $L_{ms}$ , km)	ค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา( $S_{mi}$ )
128	8.974186	128	20.942458	2.333633156
129	8.919985	129	11.064745	1.240444351
130	8.81391	130	32.220218	3.655610053
131	8.821088	131	15.729837	1.783208262
132	8.789787	132	11.227611	1.277347335
133	8.67061	133	11.700594	1.349454537
134	8.62154	134	12.744767	1.478247158
135	8.572696	135	18.158072	2.118128533
136	8.589336	136	10.917023	1.270997316
137	8.471453	137	30.686021	3.622285457
138	7.498242	138	10.835145	1.445024714
139	8.299439	139	10.092444	1.216039301
140	8.281679	140	10.538197	1.272471077
141	8.183182	141	10.788076	1.318322872
142	8.165054	142	27.90666	3.417816955
143	8.152764	143	28.51565	3.497666558
144	7.950404	144	8.603302	1.082121361
145	7.882678	145	11.836912	1.501635865
146	7.793388	146	10.677734	1.370101681
147	7.757745	147	8.755138	1.128567387