การหาความแปรปรวนน้ำใต้ดินและพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาด้วยการวิเคราะห์ค่าแนวโน้มและความสัมพันธ์สำหรับประเทศในลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง

Investigating Groundwater Variability and Hydrological Parameters using Trend and Correlation Analysis for the Lower Mekong River Basin Countries

พันเอก พงศ์พันธุ์ จันทะคัต[1,*], ร้อยเอก ณฐพัสต์ สุขสมสถาน[1] และ เยาวเรศ จันทะคัต[2]

[1] กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จ.นครนายก
[2] คณะวิทยาศาสตร์และศิลปะศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
**Corresponding author; E-mail address: pongpun.ju@crma.ac.th*

บทคัดย่อ

น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำดิบที่สำคัญหนึ่งในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง ดังนั้นความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของน้ำใต้ดินและพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาจึงเป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน การศึกษานี้จึงได้ใช้ข้อมูลการสำรวจพื้นผิวโลกและแพลตฟอร์มของกูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อหาค่าแนวโน้มและความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนน้ำใต้ดินและพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาในลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างตั้งแต่ปี พ.ศ.2545 ถึง พ.ศ.2560 ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ามีค่าแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นของปริมาณน้ำฝน การคายระเหย และการไหลบ่าในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างในประเทศลาว ประเทศไทย และเวียดนาม แต่ทว่าในประเทศกัมพูชามีค่าแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจน จากค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินและค่าการเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำเพื่อเก็บกักน้ำในชั้นดินนั้น ชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาของการเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาใช้เวลาประมาณ 1 เดือน อันเนื่องมาจากเมื่อพิจารณาระหว่างค่าทั้งสองในช่วงระยะเวลาห่างกันมากกว่า 1 เดือน จะไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (p-value > 0.05) โดยค่าปริมาณน้ำฝนมีค่าความสัมพันธ์ต่อค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินมากกว่าค่าการคายระเหยและค่าการไหลบ่า ยิ่งไปกว่านั้นการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่าค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินทั้งสี่ประเทศในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างจะมีค่าแนวโน้มที่ลดลงระหว่างปี พ.ศ.2545-2549 และมีค่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นระหว่างปี พ.ศ.2550-2554 และมีค่าแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในปี พ.ศ.2554-2559 ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถนำมาช่วยสนับสนุนเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนการจัดการแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้ เช่น การกำหนดพื้นที่ของการเติมน้ำใต้ดิน เป็นต้น

คำสำคัญ: น้ำใต้ดิน, พารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา, แนวโน้มและความสัมพันธ์, ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง

Abstract

Groundwater is an important source of freshwater in the Lower Mekong River Basin (LMRB). Understanding the relationship between groundwater variability and hydrological parameters is critical for the sustainable water resource management. The study applied the Earth Observation (EO) data and the Google Earth Engine (GEE) platform for investigating trend and correlation values between groundwater variability and hydrological parameters in the LMRB from 2002 to 2017. The results of this study show that there are increasing trends of precipitation, evapotranspiration (ET), and runoff in Laos, Thailand, and Vietnam but it is clearly found decreasing trends in Cambodia. From the relationship between liquid water equivalent thickness (LWE) and water storage changes (ΔS), a travel time of groundwater recharge in the study area is about 1 month due to p-value > 0.05 for lags of 2-3 months. Precipitation has a relationship with the LWE stronger than ET and runoff. Moreover, the study indicates the LWE of four countries in the LMRB region has a decreasing trend during 2002-2006 and an increasing trend during 2007-2011 and continuously decreasing trend during 2011-2016. Thus, the study can provide an information for the groundwater resource management in the study area such as determining groundwater recharge areas etc.

Keywords: Groundwater, Hydrological Parameter, Trend and Correlation, Lower Mekong River Basin

1.

ตารางที่ 2 ชั้นน้ำใต้ดินของประเทศในลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง [7]

Countries	Aquifer's name	Area (km^2)	Type	Estimated groundwater recharge (10^8 m^3/yr)
Thailand, Laos, Vietnam	Mekong River midstream aquifer	106,976	Dual-layer structure interstitial-fracture aquifer	126.97
Thailand, Laos	Khorat Plateau aquifer	95,510	Multi-layer structure fracture aquifer	82.92
Cambodia, Vietnam	Mekong River delta aquifer	223,422	Multi-layer structure interstitial aquifer with loose sediments	278.70

2.2 ข้อมูลทางอุทกวิทยา (Hydrological Datasets)

2.2.1 ชุดข้อมูล Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE)

ชุดข้อมูล GRACE เป็นข้อมูลการรับรู้ระยะไกลที่สามารถแสดงผลเกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดินด้วยค่า equivalent liquid water thickness (LWE) [8] ซึ่งข้อมูลมีความละเอียดที่ 0.5°x0.5° และ 1°x1° จัดทำโดยองค์กรนาซ่า (The National Aeronautics and Space Administration: NASA) และองค์กรอวกาศประเทศเยอรมนี the German Center for Air and Space Flight (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, or DLR) เริ่มโครงการในปี ค.ศ.2002 [8]

งานวิจัยที่ผ่านมาจำนวนมากที่ได้นำชุดข้อมูล GRACE นำมาศึกษาเกี่ยวข้องกับวัฏจักรข ใ ง

ตารางที่ 3 รายละเอียดของชุดข้อมูลที่ได้นำมาใช้ในการศึกษานี้

Variable	Dataset	Scale	Unit	Available time span
Terrestrial water storage anomaly (TWSa) from GRACE	Spherical-harmonic solution from CSR, JPL, and CFZ	Monthly, global, 1° Monthly, global, 0.5° Monthly, global, 0.25°	mm	April 2002 - February 2017
Precipitation	CHIRPS Pentad (version 2.0)	Monthly, global, 0.05°	mm	January 1981 to present
Surface soil moisture (SSM)	NASA-USDA enhanced SMAP global soil moisture data	Monthly, global, 0.25°	mm	April 2015 to present
Evapotranspiration (ET) and runoff	FEWS NET-FLDAS	Monthly, global, 0.10°	kg m^{-2} s^{-1} to mm s^{-1}	January 1982 to present
Precipitation and temperature	NASA NEX-GDDP	Monthly, global, 2°	kg m^{-2} s^{-1} and Celsius	January 1950 - December 2100

2.3 การวิเคราะห์ค่าแนวโน้มและค่าความสัมพันธ์ (Trend and Correlation Analysis)

วิธีการวิเคราะห์ Fourier หรือ Harmonic เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลสำหรับค่ากราฟในรูปของ cosine และ sine ในการศึกษานี้จึงได้นำการวิเคราะห์ค่า harmonic regression และค่า spectral มาใช้ร่วมกันเพื่อทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา เช่น ค่าน้ำฝน ค่าการคายระเหยของน้ำ และสามารถวิเคราะห์หาค่าแนวโน้มได้โดยพิจารณาจากค่า mt ในสมการโมเดล The harmonic regression เมื่อค่า m มีค่าเป็นบวกจะหมายถึงค่าแนวโน้มที่สูงขึ้น (increasing trend) และถ้าค่า m มีค่าเป็นลบก็จะหมายถึงค่าแนวโน้มที่ลดลง (decreasing trend) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$H(t) = \mu + mt + \sum_{j=1}^{k} a_j \cos(f_j t) + \sum_{j=1}^{k} b_j \sin(f_j t) + \epsilon_t \qquad (3)$$

โดย μ คือค่าเฉลี่ยของช่วงเวลา m คือค่าความชันของกราฟแสดงถึงค่าแนวโน้ม t คือค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา a_j (j= 1,2,3...k) และ b_j คือค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของโมเดล harmonic regression f คือค่าความถี่ในช่วงระยะแปรปรวน ϵ_t คือค่าผิดพลาดในช่วงระยะเวลา

สำหรับค่าความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างความแปรปรวนของน้ำใต้ดินและค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยานั้น ค่า X_a (Anomalies values) จะถูกคำนวณหาเพื่อประเมินหาความสัมพันธ์ ดังในสมการที่ (4)

$$X_a = X - \bar{X} \qquad (4)$$

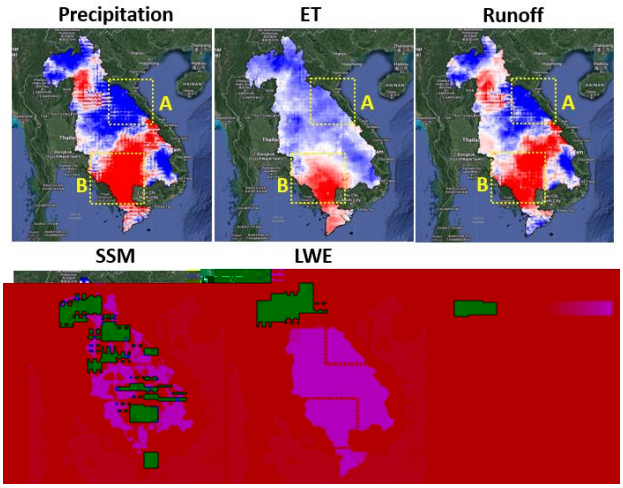
โดย X คือค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาแบบรายเดือน และ $\bar{X}$ คือค่าเฉลี่ยรายเดือน

3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

3.1 แนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา

จากการศึกษานี้ได้ประมวลผลหาค่าแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำฝน ค่าการคายระเหย ค่าความชื้นในดิน ค่าการไหลบ่า และค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินในลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างในช่วงปี พ.ศ.2545 ถึง พ.ศ.2560 ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยได้พิจารณาแบ่งออกเป็นประเทศที่มีพื้นที่ในลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นดังนี้

- มีการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่าน้ำฝน ค่าการคายระเหย และค่าการไหลบ่าของน้ำในพื้นที่ประเทศลาว ไทย และเวียดนาม (พื้นที่ A) แต่ทว่ามีการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจนในพื้นที่ประเทศกัมพูชา (พื้นที่ B)
- สำหรับค่าความชื้นในดินมีแนวโน้มที่ลดลงในพื้นที่ส่วนใหญ่บริเวณตามแนวการไหลของแม่น้ำโขง เป็นไปได้ว่าอันเนื่องมาจากความซับซ้อนทางธรณีวิทยาในพื้นที่
- สำหรับค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน (LWE) มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในพื้นที่ส่วนใหญ่ทางตอนล่างของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง แต่ทว่ามีแนวโน้มที่ลดลงในตอนบน เป็นไปได้ว่าอันเนื่องมาจากความซับซ้อนทางธรณีวิทยาในพื้นที่



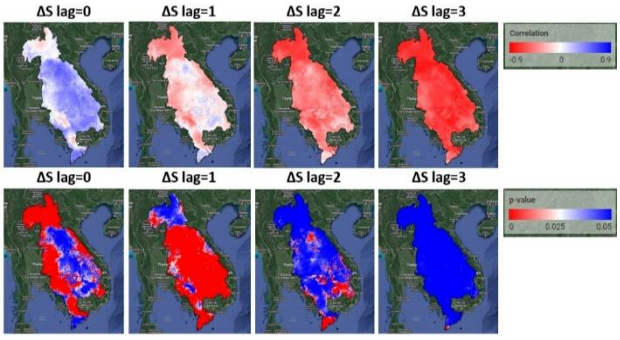
รูปที่ 2 แสดงค่าแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษา

3.2 ความสัมพันธ์ของความแปรปรวนน้ำใต้ดินและค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา

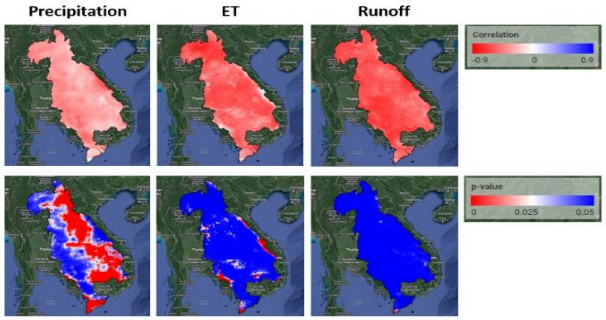
จากการศึกษาได้แสดงแผนที่ค่าความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Pearson correlation analysis และ p-value ของค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน (LWE) กับค่าความเปลี่ยนแปลงของการกักเก็บน้ำใต้ดิน (ΔS = P-ET-R; ค่าปริมาณน้ำฝนลบด้วยค่าการคายระเหยและค่าการไหลบ่า) โดยได้พิจารณาความสัมพันธ์ในแบบช่วงระยะเวลาห่างกันที่ 0 1 2 และ 3 เดือน (lag = 0, 1, 2, 3 months) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3

สำหรับในรูปที่ 4 แสดงแผนที่ความสัมพันธ์ของค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินกับค่าปริมาณน้ำฝน ค่าการคายระเหย และค่าการไหลบ่า โดยทางสถิติเมื่อค่า p-value สูงกว่าค่า 0.05 (สีน้ำเงินเข้ม) หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นดังนี้

- การพิจารณาในแบบไม่มีช่วงระยะเวลาห่างกัน (lag = 0) ได้แสดง ความสัมพันธ์ในแบบเชิงบวก (positive) ระหว่างค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน (LWE) และค่าเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำเพื่อการกักเก็บน้ำในชั้นดิน (ΔS) ในบางพื้นที่
- การพิจารณาในแบบมีช่วงระยะเวลาห่างกัน 1 เดือน ได้แสดงการมีความสัมพันธ์อย่างชัดเจน (p-value < 0.05 สีแดง) ระหว่างค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินและค่าเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำเพื่อการกักเก็บน้ำในชั้นดินในพื้นที่ส่วนใหญ่
- การพิจารณาในแบบมีช่วงระยะเวลาห่างกัน 2 และ 3 เดือน ได้แสดงให้เห็นว่าไม่มีความสัมพันธ์ (p-value > 0.05 สีน้ำเงิน) ระหว่างค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินและค่าเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำเพื่อการกักเก็บน้ำในชั้นดิน ดังนั้นแสดงว่าระยะเวลาของการเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาใช้เวลาประมาณ 1 เดือน
- จากรูปที่ 4 ค่าปริมาณน้ำฝนมีค่าความสัมพันธ์ต่อค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินมากกว่าค่าการคายระเหย และค่าการไหลบ่า



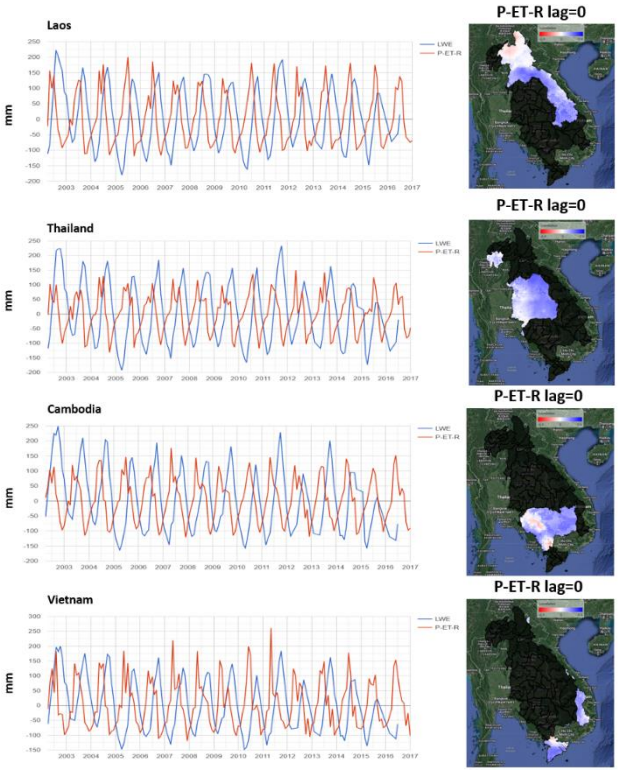
รูปที่ 3 แสดงค่าความสัมพันธ์ (correlation) และค่า p-value ระหว่างค่า LWE และค่า ΔS ด้วยการพิจารณาในแบบมีช่วงระยะเวลาห่างกันที่ 0 1 2 และ 3 เดือน (lag = 0, 1, 2, and 3 months)



รูปที่ 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ (correlation) และค่า p-value ของค่าปริมาณน้ำฝน ค่าการคายระเหย และค่าการไหลบ่าของน้ำ กับค่า LWE

รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์เชิงเวลาเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน (LWE) และค่าเปลี่ยนแปลงการเติมน้ำเพื่อการกักเก็บน้ำในชั้นดิน (ΔS) การศึกษานี้แสดงการพิจารณาในแต่ละประเทศที่มีพื้นที่ในลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างดังนี้

- ในปี ค.ศ.2005 (พ.ศ.2548) มีค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินที่ต่ำสุดในพื้นที่ทุกประเทศที่ตั้งอยู่ในลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง
- ในปี ค.ศ.2002 (พ.ศ.2545) มีค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินที่สูงสุดในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงในประเทศลาว กัมพูชา และเวียดนาม
- ในปี ค.ศ.2011 (พ.ศ.2554) พื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงในประเทศไทย มีค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินที่สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดน้ำท่วมใหญ่เนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนเป็นจำนวนมาก
- ในภาพรวมระยะเวลาของการเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างอยู่ที่ประมาณ 1 เดือน โดยพิจารณาจากค่าสูงสุดของความแตกต่างระหว่างค่าเปลี่ยนแปลงการเติมน้ำเพื่อการกักเก็บน้ำในชั้นดินและค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน

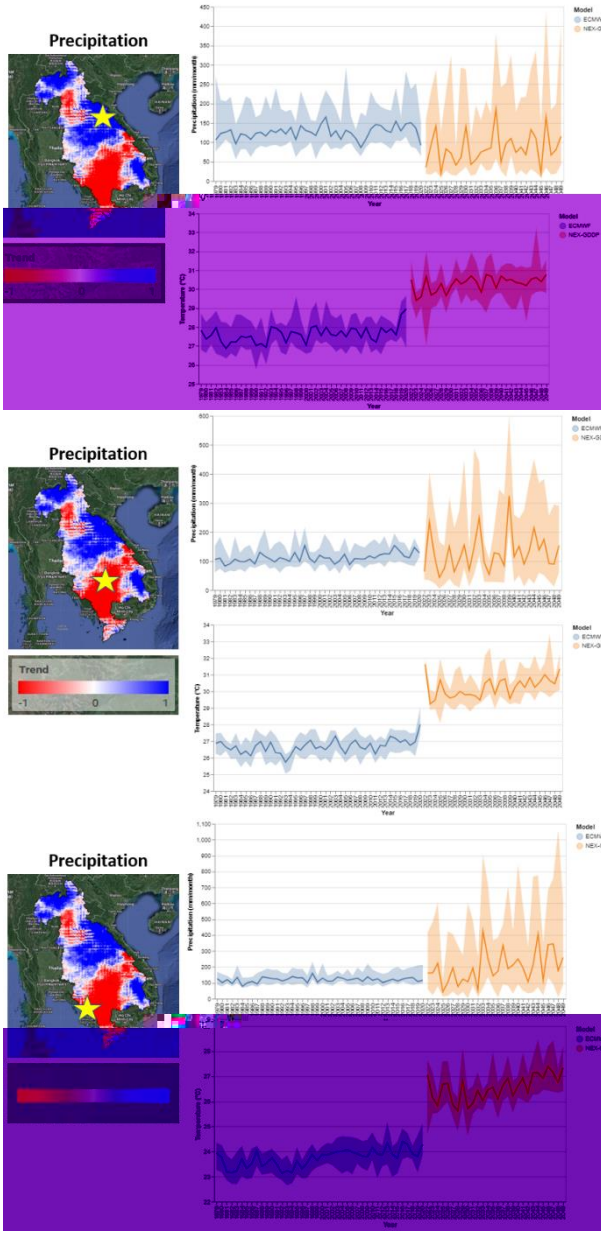


รูปที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่างค่า LWE และค่า ΔS ของประเทศลาว ไทย กัมพูชา และเวียดนาม ในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง

3.3 การประเมินสภาพภูมิอากาศจากอดีตถึงปัจจุบันและอนาคต

จากการศึกษาได้ประเมินค่าปริมาณน้ำฝนและค่าอุณหภูมิจากอดีตถึงปัจจุบันและอนาคต ระหว่างปี ค.ศ.1979 (พ.ศ.2522) ถึง ค.ศ.2049 (พ.ศ.2592) โดยการใช้ชุดข้อมูล NASA NEX-GDDP บนพื้นฐานของการพิจารณาด้วยโมเดล RCP8.5 ซึ่งการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ตำแหน่งในพื้นที่ศึกษา (พื้นที่ประเทศลาวและกัมพูชา) ดังแสดงในรูปที่ 6

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มที่ลดลงและมีค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยโมเดล RCP8.5



รูปที่ 6 การประเมินค่าน้ำฝนและค่าอุณหภูมิจากอดีตถึงปัจจุบันและอนาคต ระหว่างปี ค.ศ.1979 (พ.ศ.2522) ถึง ค.ศ.2049 (พ.ศ.2592)

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้แสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของน้ำใต้ดินและพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (precipitation) การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration: ET) ความชื้นในดิน (soil moisture) การไหลบ่าของน้ำ (runoff) และระดับความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน (liquid water equivalent thickness: LWE) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่ามีค่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝน การคายระเหย และการไหลบ่าในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างในประเทศลาว ประเทศไทย และประเทศเวียดนาม แต่ทว่าในประเทศกัมพูชามีค่าแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจน จากค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินและค่าการเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำเพื่อเก็บกักน้ำในชั้นดินนั้นชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาของการเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาใช้เวลาประมาณ 1 เดือน อันเนื่องมาจากเมื่อพิจารณาระหว่างค่าทั้งสองในช่วงระยะเวลาห่างกันมากกว่า 1 เดือน จะไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (p-value > 0.05) โดยค่าปริมาณน้ำฝนมีค่าความสัมพันธ์ต่อค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินมากกว่าค่าการคายระเหย และค่าการไหลบ่า ยิ่งไปกว่านั้นการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่าค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินทั้งสี่ประเทศในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างจะมีค่าแนวโน้มที่ลดลงระหว่างปี พ.ศ.2545-2549 และมีค่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นระหว่างปี พ.ศ.2550-2554 และมีค่าแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในปี พ.ศ.2554-2559 ซึ่งค่าปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มที่ลดลงและค่าอุณหภูมิมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในอนาคตจากการวิเคราะห์ด้วยชุดข้อมูล NASA NEX-GDDP บนพื้นฐานการพิจารณาจากโมเดล RCP8.5 ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดการแหล่งน้ำใต้ดิน เช่น การกำหนดพื้นที่ของการเติมน้ำใต้ดิน เป็นต้น ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งของการประยุกต์ใช้งานของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและแพลตฟอร์มคลาวด์เพื่อการบรรลุถึงเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของสหประชาชาติในด้านการจัดการน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย ซึ่งได้รับทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ 2565 พร้อมทั้งได้รับคำแนะนำจากหน่วยงานราชการในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณการสนับสนุนด้านงบประมาณและคำปรึกษาด้านต่างๆ สำหรับการศึกษาและวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations General Assembly (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development; A/RES/70/1; In Proceedings of the 4th Plenary Meeting, New York, NY, USA. [cited 2021 Oct 19]. Available: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.

[2] United Nations (2018). Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation. Available: https://www.susana.org/resources/documents/default/3-3637-7-1560764588.pdf

[3] Kumar, C.P. (2016). Assessing the Impact of Climate Change on Groundwater Resources. *IWRA (India) Journal*, 5(1):3-11.

[4] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R. (2017). Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sens. Environ., 202:18–27.

[5] Google Earth Engine (2020). Official website: https://earthengine.google.com

[6] USAID (2014). Mekong ARCC climate change impact and adaptation study for the Lower Mekong Basin on protected areas.

[7] Ha, K., Thi Minh Ngoc, N., Lee, E., Jayakumar, R. (2015). Current Status and Issues of Groundwater in the Mekong River Basin. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM).

[8] Jianli, C., James, S.F., Bridget, R.S., Matthew, R. (2016). Groundwater Storage Changes: Present Status from GRACE Observations. Surv. Geophys., 37:397-417.

[9] Frederic, F., Guillaume, R. (2018). Monitoring Groundwater Storage Changes Using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Satellite Mission: A Review. Remote Sens., 10:829.

[10] Siyuan, T., Luigi, J.R., Albert, I.J.M, Paul, T., Jeffrey, P.W. (2019). Global joint assimilation of GRACE and SMOS for improved estimation of root-zone soil moisture and vegetation response. Hydrol. Earth Syst. Sci., 23:1067-1081.

[11] Purdy, A.J., David, C.H., Sikder, M.S., Reager, J.T., Chandanpurkar, H.A., Jones, N.L., Matin, M.A. (2019). An Open-Source Tool to Facilitate the Processing of GRACE Observations and GLDAS Outputs: An Evaluation in Bangladesh. Front. Environ. Sci., 7(155):1-8.

[12] Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes. Sci. Data., 2:1-21.

[13] Ojha, N., Merlin, O., Suere, C., Escorihuela, M.J. (2021). Extending the Spatio-Temporal Applicability of DISPATCH Soil Moisture Downscaling Algorithm: A Study Case Using SMAP, MODIS and Sentinel-3 Data. Front. Environ. Sci., 9(216):1-17.

[14] McNally, A., Arsenault, K., Kumar, S., Shukla, S., Peterson, P., Wang, S., Funk, C., Peters-Lidard, C.D., Verdin, J.P. (2017). Data Descriptor: A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications. Sci. Data., 4(170012):1-18.

[15] Karl, E.T., Ronald, J.S., Gerald, A.M. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. Bulletin of the American Meteorological Society., 93(4):485-498.