



Digital Learning: GeoGebra Digital Tools for Mathematics Education

Wuttichai Phoodee¹

¹*Uthen Pattana School, The Secondary Education Service Area Office, Nakhon Phanom, Thailand*

**Email: W.phoodee@gmail.com*

Received <20 November 2024>; Revised <17 December 2024>; Accepted <19 December 2024>

Abstract

Technology plays an important role in both everyday life and education, particularly in facilitating online learning. Digital learning uses digital technology to create dynamic, flexible learning environments that encourage interaction between students and teachers as well as amongst students. This method places a strong emphasis on problem-solving techniques, critical thinking skill development, and cooperative learning. To successfully incorporate technology into learning experiences that are in line with pedagogy and content, educators should utilize the TPACK framework. GeoGebra is a recognized digital tool for teaching mathematics that improves teaching and learning methods in the digital era. GeoGebra, which is appropriate for students of all ages, promotes conceptual comprehension and mathematical thinking abilities by allowing experimentation and inquiry. Additionally, the use of GeoGebra encourages self-directed learning, aligning with the demands of 21st- century education.

Keywords: Digital learning; TPACK framework; GeoGebra; Self-directed learning

การเรียนรู้แบบดิจิทัล: GeoGebra เครื่องมือดิจิทัลสำหรับคณิตศาสตร์ศึกษา

วุฒิชัย ภูติ¹

¹โรงเรียนอุเทนพัฒนา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษานครพนม จังหวัดนครพนม

*Email: W.phoodee@gmail.com

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญทั้งในชีวิตประจำวันและด้านการศึกษา โดยเฉพาะในการสนับสนุนการเรียนรู้แบบดิจิทัล ซึ่งเป็นกระบวนการที่อาศัยเทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนที่หลากหลาย และส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน หรือระหว่างผู้เรียนด้วยกันเอง แนวทางดังกล่าวเน้นการส่งเสริมการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ และความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ ผู้สอนควรนำกรอบแนวคิด TPACK มาใช้เพื่อประยุกต์เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับเนื้อหาและวิธีการสอน GeoGebra เป็น เครื่องมือดิจิทัลที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในฐานะเครื่องมือสำคัญสำหรับการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคดิจิทัล เครื่องมือนี้สามารถนำไปใช้กับผู้เรียนในทุกช่วงวัย ช่วยให้ผู้เรียนสามารถสำรวจและทดลอง เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดทางคณิตศาสตร์ และเสริมสร้างทักษะกระบวนการคิดเชิงคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ GeoGebra ยังส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสามารถในการเรียนรู้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

คำสำคัญ: การเรียนรู้แบบดิจิทัล; กรอบแนวคิด TPACK; GeoGebra; การเรียนรู้ด้วยตนเอง

บทนำ

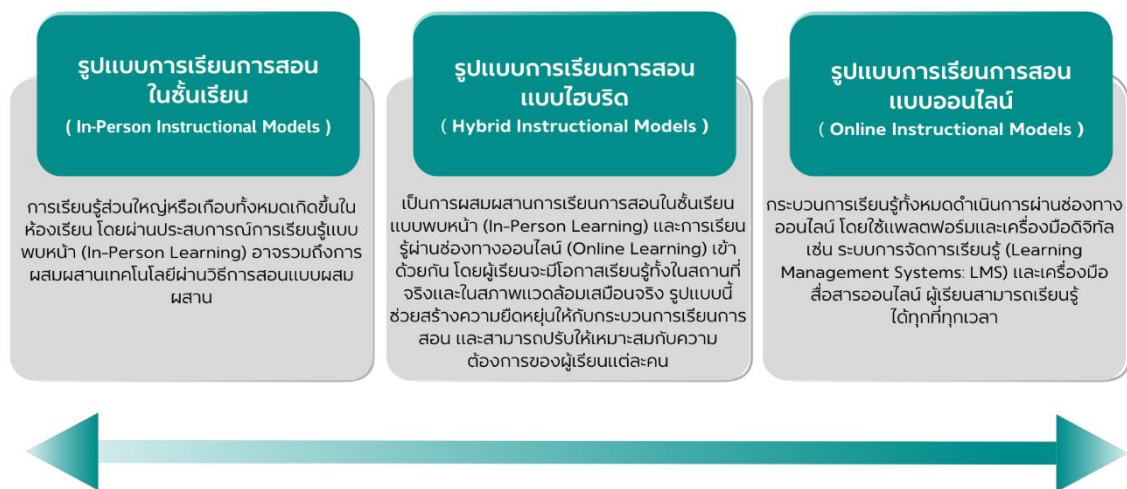
ในยุคดิจิทัล เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญทั้งในชีวิตประจำวันและด้านการศึกษา โดยถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามความสนใจส่วนบุคคล พร้อมทั้งส่งเสริมการประเมินและพัฒนาทักษะของตนเองได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ผู้สอนยังสามารถใช้เทคโนโลยีในการออกแบบลำดับการเรียนรู้ที่เหมาะสม รวมถึงบริหารจัดการกระบวนการเรียนการสอนได้อย่างเป็นระบบ ด้วยเหตุนี้ การใช้เทคนิคและเครื่องมือการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นผ่านเทคโนโลยี เช่น การเรียนรู้แบบมีผู้ช่วยแนะนำ (Scaffolded Learning) หรือการเรียนรู้แบบเสริมแรง (Reinforcement Learning) จึงมีศักยภาพสูงในการสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้และพัฒนาทักษะของผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพ ในทางสอนคณิตศาสตร์เทคโนโลยียังมีบทบาทสำคัญ สำหรับสนับสนุนการสอนคณิตศาสตร์หลายแง่มุม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ด้านการส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเองและการพัฒนาความเข้าใจเชิงลึกของผู้เรียน

GeoGebra เป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้ผู้สอนสามารถสร้างสรีรคกิจกรรมการเรียนรู้ ที่ตอบสนองต่อความต้องการและความสามารถของผู้เรียน ทั้งนี้ การออกแบบกิจกรรมที่มีกลไกการตอบกลับอัตโนมัติ (Automatic Feedback) ช่วยให้ผู้เรียนได้รับคำแนะนำที่เหมาะสมในระหว่างการเรียนรู้ พร้อมทั้งช่วยให้ผู้สอนปรับกิจกรรมให้เหมาะสมกับปัญหาที่ผู้เรียนเผชิญ (Dos Santos, Abar and Almeida, 2022) และในกระบวนการจัดการเรียนรู้อย่างเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถประเมินผล และปรับปรุงการเรียนรู้ของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การตอบกลับแบบอัตโนมัติช่วยเสริมสร้างการเรียนรู้เชิงปฏิสัมพันธ์ และส่งเสริมการคิดวิเคราะห์ผ่านกระบวนการเรียนรู้ ที่ใช้ข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อปรับปรุงทักษะ (Narciss, 2008) อีกทั้งช่วยให้ผู้เรียนสามารถสร้างภาพแบบปฏิสัมพันธ์ (Interactive) และเรียนรู้ผ่านการทดลองในบริบทที่สมจริง การเรียนรู้ในลักษณะนี้ทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงแนวคิดนามธรรม กับการประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาการคิดแบบเชิงกระบวนการและการทำงานเป็นทีม (Febriani *et al.*, 2024)

จากการเข้ามาของเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว ดังนั้นผู้สอนคณิตศาสตร์ต้องมีการปรับตัวและพัฒนาตนเอง เพื่อให้จัดการเรียนการสอนให้เข้ากับยุคสมัยและความต้องการของผู้เรียน บทความนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการเรียนรู้คณิตศาสตร์แบบดิจิทัลด้วย GeoGebra ซึ่งเป็นโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะเป็นไดนามิก (Dynamic Mathematic Software: DMS) เพื่อส่งเสริมให้ผู้สอนได้มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทางการออกแบบการเรียนรู้แบบดิจิทัล (Digital Learning) และการประยุกต์ใช้เครื่องมือดิจิทัลเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้คณิตศาสตร์ รวมถึงสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ และการบริหารจัดการชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเรียนรู้แบบดิจิทัล (Digital Learning)

การเรียนรู้แบบดิจิทัล (Digital Learning) คือ กระบวนการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยีดิจิทัล ในการสนับสนุนการเรียนการสอน เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลาย มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน และระหว่างผู้เรียนด้วยตนเอง เน้นการส่งเสริมการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ และการแก้ปัญหา โดยมีจุดมุ่งหมายในการเสริมสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับแนวคิดที่ซับซ้อน โดยจะเปลี่ยนแปลงจากการเรียนการสอนในชั้นเรียนแบบเดิม ไปสู่การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) จนกระทั่งถึงการเรียนรู้แบบออนไลน์เต็มรูปแบบ โดยเน้นการใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ที่ปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการเฉพาะของผู้เรียน สนับสนุนการคิดเชิงวิพากษ์ ส่งเสริมการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ (Gupta, Rana and Raj, 2024) และการเรียนรู้ในห้องเรียนที่มีการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การเรียนรู้แบบดิจิทัลยังมีศักยภาพในการปรับปรุงกระบวนการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้เรียน และช่วยอำนวยความสะดวกในกระบวนการประเมินผลและกลยุทธ์การสอนของผู้สอน (Cirneanu and Moldoveanu, 2024) อีกทั้งยังเพิ่มการเข้าถึงและความเท่าเทียมในกระบวนการเรียนรู้ ผ่านการใช้เครื่องมือและเทคนิคการสอนที่ช่วยให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมอย่างเต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การเรียนรู้ในรูปแบบนี้ยังส่งเสริมการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์ การทำงานร่วมกัน และการประเมินผลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดย Oregon Department of Education (2023) ได้กำหนดสเปกตรัมของโมเดลการเรียนการสอนแบบดิจิทัล (Spectrum of Digital Instructional Models) ออกเป็น 3 รูปแบบดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สเปกตรัมของโมเดลการเรียนการสอนแบบดิจิทัล

จากภาพที่ 1 สเปกตรัมของโมเดลการเรียนการสอนแบบดิจิทัล มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการสนับสนุนการเรียนการสอน จากระดับชั้นเรียนไปจนถึงการเรียนรู้ด้วยตนเองแบบออนไลน์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. รูปแบบการเรียนการสอนในชั้นเรียน (In-Person Instructional Models) เป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่จัดการเรียนรู้โดยที่ผู้สอนและผู้เรียนพบหน้ากันในพื้นที่จริงในห้องเรียน การเรียนรู้รูปแบบนี้มีจุดเด่นที่การมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงระหว่างผู้สอนและผู้เรียน ซึ่งสามารถนำเทคโนโลยีมาประยุกต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอนได้ เช่น การใช้การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) ซึ่งเป็นการผสมผสานการสอนแบบเดิมเข้ากับเทคโนโลยีดิจิทัล โดยมีลักษณะสำคัญดังนี้

- 1) การเรียนรู้แบบพบหน้า (Face-to-Face Learning) ผู้เรียนและผู้สอนพบกันในพื้นที่เดียวกัน เช่น ห้องเรียน และเหมาะสำหรับกิจกรรมที่ต้องการปฏิสัมพันธ์โดยตรง เช่น การทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือการทำกิจกรรมกลุ่ม
- 2) การใช้เทคโนโลยีสนับสนุนการสอน เป็นการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพการเรียนการสอน เช่น การใช้ Smartboard หรือการสอนผ่านสื่อมัลติมีเดีย
- 3) การสร้างความสัมพันธ์และการมีส่วนร่วม ซึ่งการพบหน้ากันช่วยเสริมสร้างความสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและผู้สอน รวมถึงระหว่างเพื่อนร่วมชั้น ทำให้มีปฏิสัมพันธ์แบบเรียลไทม์ช่วยให้ผู้สอนสามารถปรับเปลี่ยนการสอนให้เหมาะสมกับสถานการณ์ได้ทันที
- 4) การสนับสนุนการเรียนรู้เฉพาะบุคคล โดยผู้สอนสามารถให้คำแนะนำเฉพาะบุคคลได้ง่ายขึ้น และสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนในสถานที่จริง

รูปแบบการเรียนการสอนในชั้นเรียน (In-Person Instructional Models) ยังคงเป็นรูปแบบการเรียนการสอนหลักที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมที่ต้องการการมีส่วนร่วมโดยตรง หรือการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ อย่างไรก็ตามการผสมผสานเทคโนโลยีช่วยให้การสอนในชั้นเรียนมีความหลากหลายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. รูปแบบการเรียนการสอนแบบไฮบริด (Hybrid Instructional Models) เป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่ผสมผสานระหว่าง การเรียนการสอนในชั้นเรียน (In-Person Learning) และ การเรียนการสอนผ่านช่องทางออนไลน์ (Online Learning) โดยรูปแบบนี้ช่วยสร้างความยืดหยุ่นให้กับผู้เรียนและผู้สอนในกระบวนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งสามารถออกแบบและปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการและบริบทของผู้เรียน มีลักษณะสำคัญดังนี้

- 1) การผสมผสานรูปแบบการเรียนรู้ เป็นการรวมการเรียนการสอนในชั้นเรียนจริงเข้ากับการใช้สื่อและแพลตฟอร์มออนไลน์ ซึ่งผู้เรียนสามารถเลือกเรียนบางส่วนผ่านระบบออนไลน์ และบางส่วนในชั้นเรียนจริงตามความสะดวก
- 2) การเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น โดยผู้เรียนสามารถจัดตารางเวลาเรียนที่เหมาะสมกับตัวเองได้ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้เรียนที่มีความต้องการเฉพาะ เช่น ผู้เรียนที่อยู่ห่างไกลหรือผู้ที่มีข้อจำกัดด้านเวลา
- 3) การบูรณาการเทคโนโลยี เป็นการนำเทคโนโลยี เช่น Learning Management Systems (LMS), วิดีโอคอนเฟอเรนซ์, และสื่อการสอนออนไลน์ เพื่อสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้ทั้งในชั้นเรียนและออนไลน์
- 4) การเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา ในการเรียนรู้สามารถออกแบบให้เหมาะสมกับกลุ่มผู้เรียน เช่น การเรียนรู้เชิงลึกในชั้นเรียน และการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษานอกเวลาเรียน ซึ่ง รูปแบบการจัดการเรียนรู้มี ดังนี้

1) ห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) ผู้เรียนศึกษาเนื้อหาเบื้องต้นผ่านวิดีโอหรือสื่อออนไลน์ก่อนมาเข้าชั้นเรียน เพื่อใช้เวลาในห้องเรียนในการอภิปรายหรือทำกิจกรรมเชิงปฏิบัติ

2) กิจกรรมการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning Activities) ผู้เรียนเข้าร่วมในกิจกรรมทั้งในห้องเรียนจริงและผ่านระบบออนไลน์ เช่น การทำงานกลุ่มในห้องเรียนและการทำแบบฝึกหัดออนไลน์

3) การหมุนเวียนการเรียนการสอนในชั้นเรียนและห้องเรียนเสมือน (Virtual and In-Person Rotations) การแบ่งผู้เรียนเป็นกลุ่ม โดยกลุ่มหนึ่งเรียนในชั้นเรียนจริงขณะที่อีกกลุ่มหนึ่งเรียนออนไลน์ จากนั้นสลับกันตามตารางเวลา

รูปแบบการเรียนการสอนแบบไฮบริด (Hybrid Instructional Models) เป็นการเรียนการสอนที่เหมาะสมสำหรับการศึกษายุคใหม่ เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนตามความต้องการของผู้เรียน และผสมผสานการใช้เทคโนโลยีเข้ากับการเรียนรู้เชิงปฏิสัมพันธ์ได้อย่างลงตัว

3. รูปแบบการเรียนการสอนแบบออนไลน์ (Online Instructional Models) คือรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่ดำเนินการทั้งหมดผ่านช่องทางออนไลน์ โดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นสื่อกลางในการถ่ายทอดเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ รวมถึงการประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน รูปแบบนี้มักใช้แพลตฟอร์มการเรียนรู้ เช่น Learning Management Systems (LMS) หรือเครื่องมือประชุมทางไกล เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ โดยประเภทของรูปแบบการเรียนการสอนแบบออนไลน์ (Online Instructional Models) มีดังต่อไปนี้

1) การเรียนรู้แบบซิงโครนัส (Synchronous Learning) เป็นการเรียนการสอนเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ เช่น Zoom, Microsoft Teams หรือ Google Meet มีปฏิสัมพันธ์แบบเรียลไทม์ระหว่างผู้สอนและผู้เรียน และเหมาะสำหรับการอภิปราย การบรรยายสด และการทำกิจกรรมกลุ่ม

2) การเรียนรู้แบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Learning) โดยผู้เรียนสามารถเข้าถึงเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามเวลาที่สะดวก เนื้อหาอาจเป็นวิดีโอการสอน เอกสารออนไลน์ หรือแบบฝึกหัดในระบบ LMS และเหมาะสำหรับผู้เรียนที่ต้องการความยืดหยุ่นในการจัดตารางเวลา

3) การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Online Learning) เป็นการรวมข้อดีของการเรียนแบบซิงโครนัสและอะซิงโครนัส ซึ่งผู้เรียนอาจศึกษาทฤษฎีผ่านเนื้อหาออนไลน์ล่วงหน้า (อะซิงโครนัส) และเข้าร่วมกิจกรรมกลุ่มในเวลาที่กำหนด (ซิงโครนัส)

โดยลักษณะสำคัญของรูปแบบการเรียนการสอนแบบออนไลน์ (Online Instructional Models) มีดังต่อไปนี้

1) การใช้แพลตฟอร์มดิจิทัล

- LMS เช่น Moodle, Blackboard หรือ Canvas ใช้สำหรับการจัดการเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้
- แพลตฟอร์มการสื่อสาร เช่น Zoom หรือ Microsoft Teams ใช้สำหรับการสอนสด

2) การเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น

- ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้จากทุกที่ที่มีอินเทอร์เน็ต
- เหมาะสำหรับผู้เรียนที่มีข้อจำกัดด้านเวลาและสถานที่

3) การพัฒนาเนื้อหาดิจิทัล

- เนื้อหาการเรียนรู้มักพัฒนาในรูปแบบมัลติมีเดีย เช่น วิดีโอการสอน อินโฟกราฟิก หรือบทเรียนแบบโต้ตอบ

4) การติดตามและประเมินผลออนไลน์

- ระบบ LMS ช่วยติดตามความก้าวหน้าของผู้เรียน และให้การประเมินผลแบบออนไลน์ เช่น แบบทดสอบ การบ้าน หรือโครงการกลุ่ม

ดังนั้นรูปแบบการเรียนการสอนแบบออนไลน์ (Online Instructional Models) เป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับการเรียนรู้ในยุคปัจจุบัน โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีข้อจำกัดทางด้านเวลาและสถานที่ นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยียังช่วยสร้างโอกาสในการเรียนรู้ที่หลากหลายและยืดหยุ่นมากขึ้น

แนวทางการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ในยุคดิจิทัล

การเรียนรู้แบบดิจิทัลในวิชาคณิตศาสตร์ควรออกแบบให้ส่งเสริมความเข้าใจของผู้เรียนในแนวคิดที่ซับซ้อน และสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่มีปฏิสัมพันธ์ โดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้ในหลากหลายมิติ ได้แก่

1) การใช้สื่อการเรียนรู้แบบโต้ตอบ (Interactive Learning Tools) ผ่านการใช้เครื่องมือดิจิทัล เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองการแก้สมการ กราฟแบบไดนามิก และแอปพลิเคชันคณิตศาสตร์ ช่วยให้ผู้เรียนมีโอกาสเรียนรู้ผ่านการลงมือทำและการทดลอง ตัวอย่างเช่น GeoGebra ที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจกราฟและเรขาคณิตได้ดียิ่งขึ้น (Cirneanu and Moldoveanu, 2024)

2) การบูรณาการการเรียนรู้แบบมีปฏิสัมพันธ์ (Collaborative Digital Platforms) โดยใช้แพลตฟอร์มการเรียนรู้ดิจิทัลที่ส่งเสริมการทำงานกลุ่ม เช่น การแก้ปัญหาร่วมกันใน Google Sheets หรือ Microsoft Teams ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านการทำงานร่วมกับผู้อื่น ซึ่งพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาแบบกลุ่มและการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ร่วมกัน (Nguyen and Tuamsuk, 2022)

3) การสร้างสถานการณ์จำลองที่เหมือนจริง (Realistic Simulations) การใช้สถานการณ์จำลองในวิชาคณิตศาสตร์ เช่น การสร้างแบบจำลองสมการที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน หรือการใช้ MATLAB และ Python เพื่อแสดงผลสมการที่ซับซ้อน ช่วยให้ผู้เรียนเห็นความเชื่อมโยงระหว่างคณิตศาสตร์กับการใช้งานในชีวิตจริง (Cirneanu and Moldoveanu, 2024)

4) การประเมินผลแบบดิจิทัล (Digital Assessment Tools) เป็นการใช้ระบบประเมินผลแบบดิจิทัล เช่น Kahoot หรือ Google Forms ช่วยให้ผู้สอนสามารถประเมินความเข้าใจของผู้เรียนได้อย่างรวดเร็วและปรับปรุงเนื้อหาการสอนให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้เรียนแต่ละคน (Gupta, Rana and Raj, 2024)

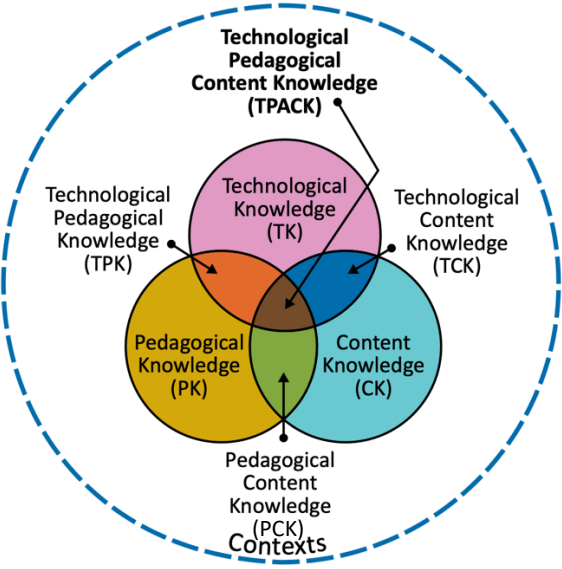
5) การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem-Solving Skills) การเรียนรู้แบบดิจิทัลในวิชาคณิตศาสตร์ควรมุ่งเน้นการส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดเชิงวิเคราะห์และแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ โดยการสร้างสถานการณ์ที่ต้องใช้การวิเคราะห์ข้อมูล การออกแบบกราฟ และการใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง เช่น Mathematica หรือ MATLAB เพื่อพัฒนาทักษะดังกล่าว (Nguyen and Tuamsuk, 2022)

6) การสนับสนุนการเรียนรู้เฉพาะบุคคล (Personalized Learning) ซึ่งเทคโนโลยีดิจิทัลสามารถปรับเนื้อหาและกิจกรรมให้เหมาะสมกับความต้องการเฉพาะบุคคล เช่น การใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่ช่วยระบุจุดอ่อนของผู้เรียนและแนะนำเนื้อหาที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเพิ่มเติม (Gupta, Rana and Raj, 2024)

ดังนั้นการเรียนรู้แบบดิจิทัลในวิชาคณิตศาสตร์ควรออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีที่สร้างสรรค์ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจแนวคิดเชิงคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและพัฒนาทักษะสำคัญ ได้แก่ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ การสื่อสาร การคิดสร้างสรรค์และการทำงานร่วมกับผู้อื่น

กรอบแนวคิด TPACK ในการสอนคณิตศาสตร์

การบูรณาการเทคโนโลยีเข้ามามีใช้ในการจัดการเรียนรู้ไม่ใช่แค่เรื่องเกี่ยวกับอุปกรณ์ในการจัดการเรียนรู้ แต่ควรคำนึงถึงวิธีการและเหตุผลที่ใช้เทคโนโลยีด้วย (Earle, 2002) โดยการนำเทคโนโลยีมาใช้ในห้องเรียนของผู้สอนอาจจะส่งผลทั้งทางบวกและทางลบให้กับผู้เรียน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้สอนจะต้องมีความรู้ ความเข้าใจ ทักษะ และความเชื่อของเกี่ยวกับเทคโนโลยีทางการศึกษา เพื่อปรับใช้เทคโนโลยีในห้องเรียนให้เหมาะสมกับบริบทของผู้เรียน (Kartal, Kiziltepe and Kartal, 2022) กรอบแนวคิด TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) จะช่วยให้ผู้สอนสามารถกำหนดความรู้และการใช้เทคโนโลยีมาปรับปรุงแนวทางการสอนของตนเอง และส่งเสริมผู้สอนให้มีเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีและมีความมั่นใจในตนเองเกี่ยวกับการสอนด้วยเทคโนโลยีเพิ่มขึ้น (Kartal and Çınar, 2024) ซึ่ง TPACK เป็นแนวคิดที่พัฒนาโดย Mishra and Koehler (2006) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ความรู้สามด้านสำคัญที่จำเป็นสำหรับการสอนในยุคดิจิทัล ได้แก่ ความรู้ด้านเนื้อหา (Content Knowledge: CK), ความรู้ด้านการสอน (Pedagogical Knowledge: PK), และความรู้ด้านเทคโนโลยี (Technological Knowledge: TK) โดยที่จุดตัดระหว่างสามองค์ความรู้ดังกล่าวจะก่อให้เกิดการสอนที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิด TPACK

ซึ่งจากภาพที่ 2 ได้อธิบายองค์ประกอบของ กรอบแนวคิด TPACK ไว้ 7 องค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

1) ความรู้ด้านเนื้อหา (Content Knowledge: CK) คือความรู้ด้านคณิตศาสตร์ที่ลุ่มลึกไปตามเนื้อหาวิชาและระดับชั้น (Koehler, Mishra and Yahya, 2007)

2) ความรู้ด้านเทคโนโลยี (Technological Knowledge: TK) เกี่ยวข้องกับความรู้ในการใช้เครื่องมือที่ใช้เทคโนโลยีและความสามารถในการปรับตัวในสถานะของการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี (Özgün-Koca, Meagher and Edwards, 2010)

3) ความรู้ด้านการสอน (Pedagogical Knowledge: PK) เกี่ยวกับ เทคนิค กระบวนการ วิธีการ แนวทางการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ผู้เรียนได้บรรลุวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้ (Koehler, Mishra and Yahya, 2007; Özgün-Koca, Meagher and Edwards, 2010)

4) ความรู้ด้านเนื้อหาผนวกศาสตร์การสอน (Pedagogical Content Knowledge: PCK) เกี่ยวกับวิธีการหนึ่งในการทำความเข้าใจเนื้อหาคณิตศาสตร์ในการจัดการเรียนรู้ และค้นหาเทคนิค กระบวนการ วิธีการ แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย และปรับเนื้อหาให้เหมาะกับการเรียนรู้ที่มีอยู่เดิมของผู้เรียน (Mishra and Koehler, 2008)

5) ความรู้ด้านเนื้อหาผนวกเทคโนโลยี (Technological Content Knowledge: TCK) หมายความว่าวิธีการบูรณาการใช้เทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ร่วมกัน ซึ่ง TCK ช่วยให้ผู้สอนสามารถระบุได้ว่าเทคโนโลยีใดมีประโยชน์มากที่สุดในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และคณิตศาสตร์กับเทคโนโลยีมีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร (Mishra and Koehler, 2008)

6) ความรู้ด้านศาสตร์การสอนผนวกเทคโนโลยี (Technological Pedagogical Knowledge: TPK) หมายความว่าความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการสอนและการเรียนรู้ในการบูรณาการใช้เทคโนโลยี (Mishra and Koehler, 2008)

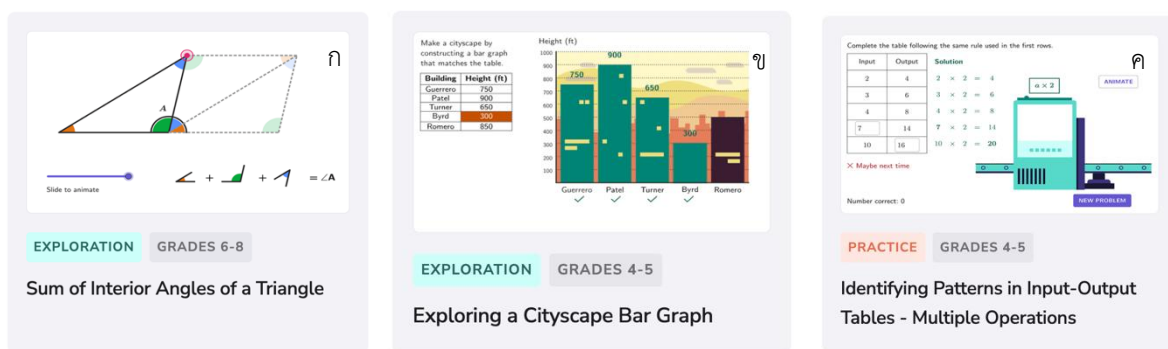
7) ความรู้ด้านเนื้อหา ผนวกศาสตร์การสอน และเทคโนโลยี (Technological Pedagogical Content Knowledge: TPACK) คือ ความรู้ที่เกิดขึ้นเมื่อโดเมนความรู้หลัก 3 โดเมนมาบรรจบกัน TPACK ช่วยให้เข้าใจว่าฐานความรู้เหล่านี้มีปฏิสัมพันธ์กัน (Mishra and Koehler, 2008) ผู้สอนสามารถระบุการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการสอน เนื้อหา และเทคโนโลยีได้มากก็จะบูรณาการเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่านั้น (Angeli, Valanides and Christodoulou, 2016)

ซึ่ง กรอบแนวคิด TPACK ได้สนับสนุนการใช้เทคโนโลยีในกระบวนการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ผู้สอนสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีให้สอดคล้องกับเนื้อหาและวิธีการสอน ส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยการผสมผสานเทคโนโลยีช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วม ความสนใจ และความเข้าใจของผู้เรียน และยังช่วยปรับปรุงคุณภาพการสอนในยุคดิจิทัล โดยผู้สอนสามารถออกแบบกิจกรรมที่ตอบสนองความต้องการของผู้เรียนในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่หลากหลาย ซึ่งผู้สอนสามารถเลือกใช้เทคโนโลยี เพื่อสร้างเนื้อหาทางดิจิทัลหรือซอฟต์แวร์ทางคณิตศาสตร์ในการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยสามารถใช้งานได้ตั้งแต่การสาธิตการสอนไปจนถึงการให้ผู้เรียนได้สำรวจตรวจสอบจนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง โปรแกรมคณิตศาสตร์แบบไดนามิก (Dynamic Mathematics Software: DMS) เครื่องมือดิจิทัลที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ช่วยให้ผู้เรียนสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของวัตถุพร้อมกันและช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้นเกี่ยวกับโครงสร้างที่สร้างขึ้นเนื่องจากโปรแกรมคณิตศาสตร์แบบไดนามิกมีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง (Akyuz, 2018) ซึ่งทำให้ผู้เรียนสามารถประเมินสถานการณ์ ตัดสินใจ สื่อสารทางคณิตศาสตร์ และกำหนดคำอธิบายทางคณิตศาสตร์ในสภาพแวดล้อมทางเรขาคณิตแบบไดนามิกที่แตกต่างจากสภาพแวดล้อมแบบเดิม (Gökçe and Güner, 2022)

GeoGebra เครื่องมือดิจิทัลในการเรียนรู้คณิตศาสตร์

GeoGebra เป็นโปรแกรมคณิตศาสตร์แบบไดนามิก (Dynamic Mathematics Software: DMS) ที่มีความสามารถหลากหลายสำหรับการเรียนการสอนคณิตศาสตร์รองรับการสอนและการเรียนรู้เกี่ยวกับเรขาคณิต พีชคณิต สถิติ กราฟ สถิติ และแคลคูลัส ซอฟต์แวร์นี้ถูกพัฒนาขึ้นในปี 2001 โดย Markus Hohenwarter โดยมีเป้าหมายเพื่อเชื่อมโยงแนวคิดทางคณิตศาสตร์ในเชิงพีชคณิตและเรขาคณิตเข้าด้วยกัน GeoGebra สามารถใช้งานได้ฟรีและเปิดกว้างสำหรับผู้เรียน ผู้สอน และนักวิจัย ซึ่งช่วยส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์ และสนับสนุนการพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิเคราะห์และการแก้ปัญหา (Hohenwarter and Jones, 2007) โดยมีจุดเด่นสำคัญที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างและสำรวจแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น ผู้เรียนสามารถสร้างกราฟ ฟังก์ชัน และรูปเรขาคณิตที่ซับซ้อน พร้อมทั้งทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเพื่อสังเกตผลลัพธ์ทันที ซึ่งช่วยเพิ่มความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับแนวคิดทางคณิตศาสตร์ และผู้สอนยังสามารถออกแบบบทเรียนแบบปฏิสัมพันธ์ (interactive) สร้างทัศนคติเชิงบวกต่อการเรียนรู้คณิตศาสตร์ผ่านการใช้สื่อการสอน (Sugandi and Bernard, 2020) อีกทั้งยังกระตุ้นทัศนคติของผู้สอนในการบูรณาการการสอนคณิตศาสตร์ด้วยเครื่องมือดิจิทัล (Alabdulaziz *et al.*, 2021) ที่สามารถกระตุ้นการเรียนรู้ มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง (Marasabessy and Helsa, 2024) ซึ่งสามารถใช้ในการ

เรียนการสอนคณิตศาสตร์ในทุกระดับชั้น (Bueno, Lieban and Ballejo, 2021) และยังส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนและส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในบทเรียน ช่วยให้ผู้เรียนมีความมั่นใจตอบคำถามและขอความช่วยเหลือจากผู้สอน ส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเองในชั้นเรียนคณิตศาสตร์จนทำให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการเรียนรู้ (Phoodee, 2023) โดยซอฟต์แวร์นี้ยังสามารถรองรับการใช้งานบนหลากหลายแพลตฟอร์ม ได้แก่ คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือสมาร์ทโฟน ทำให้การเรียนการสอนคณิตศาสตร์สามารถเข้าถึงได้ในทุกที่และทุกเวลา (Phoodee, 2020) นอกจากนี้ GeoGebra ยังช่วยให้ผู้สอนสามารถแบ่งปันสื่อการเรียนการสอนและกิจกรรมในรูปแบบออนไลน์ได้ง่ายผ่าน GeoGebra Materials ซึ่งเป็นคลังทรัพยากรที่ผู้ใช้จากทั่วโลกสามารถอัปโหลดและดาวน์โหลดได้ ซึ่งในปัจจุบัน GeoGebra ได้กลายเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในวงการศึกษาคณิตศาสตร์ทั่วโลก ด้วยความสามารถในการเชื่อมโยงเทคโนโลยีกับการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ GeoGebra ช่วยให้ผู้เรียนและผู้สอนมีโอกาสพัฒนาทักษะด้านคณิตศาสตร์ได้อย่างลึกซึ้งและกว้างขวางยิ่งขึ้น นอกจากซอฟต์แวร์หลักแล้ว GeoGebra ยังมีทรัพยากรการเรียนรู้ที่หลากหลายและมีคุณภาพสูง ผู้สอนสามารถนำมาใช้เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนได้ โดยชุดกิจกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในห้องเรียนคณิตศาสตร์ ตั้งแต่ระดับประถมศึกษาจนถึงมัธยมศึกษา เช่น ทรัพยากรสำหรับการเรียนรู้เกี่ยวกับมุม รูปทรงเรขาคณิต และสมการ ดังภาพที่ 3

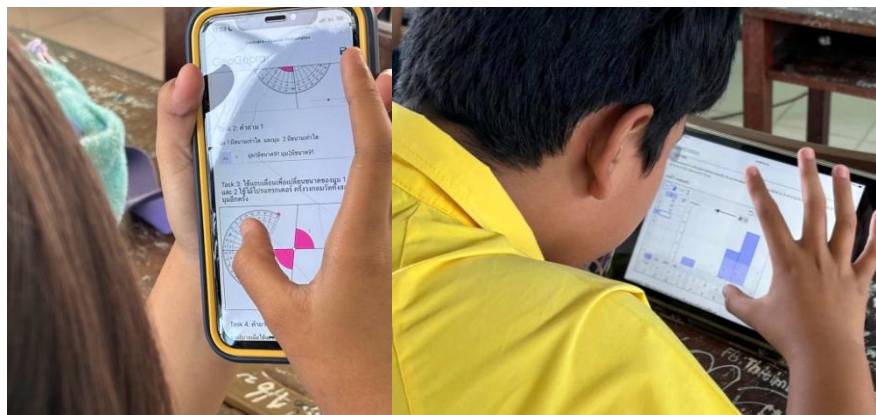


ภาพที่ 3 (ก) สื่อเกี่ยวกับการวัดและเรขาคณิต (ข) สื่อเกี่ยวกับสถิติและความน่าจะเป็น (ค) สื่อเกี่ยวกับจำนวนและพีชคณิต

จากภาพที่ 3 พบว่า GeoGebra มีทรัพยากรการเรียนรู้ที่หลากหลายและครบถ้วนตามสาระการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ที่หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ได้กำหนดไว้ ได้แก่ จำนวนและพีชคณิต การวัดและเรขาคณิต และสถิติและความน่าจะเป็น ซึ่งสื่อเหล่านี้ออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและน่าสนใจโดยผู้สอนสามารถเข้ามาเลือกใช้ให้สอดคล้องกับบริบทของตนเองได้ ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถสำรวจและทดลองด้วยตนเอง เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

GeoGebra เป็นแอปพลิเคชันหนึ่งที่มีความโดดเด่นในเรื่องของการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ในยุคดิจิทัล ด้วยคุณสมบัติที่สนับสนุนการเรียนรู้เชิงปฏิสัมพันธ์ (Interaction) และสามารถปรับกิจกรรมให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้เรียนเป็นรายบุคคล ซึ่งช่วยเสริมสร้างความเข้าใจให้กับผู้เรียนเกี่ยวกับแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรม พร้อมทั้งส่งเสริมพัฒนาทักษะสำคัญ ได้แก่ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ การสื่อสาร การคิดสร้างสรรค์และการทำงานร่วมกับผู้อื่น และยังมีคามยืดหยุ่นและความสะดวกในการเข้าถึงทำให้ GeoGebra เป็นทรัพยากรที่ทรงคุณค่าสำหรับการเรียนการสอนในทุกระดับการศึกษาและสามารถนำไปใช้กับผู้เรียนในทุกช่วงวัย ซึ่งการนำ GeoGebra มาใช้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาวิธีการสอนให้สอดคล้องกับความต้องการของการศึกษาศตวรรษที่ 21 ผู้สอนจำเป็นต้องพัฒนาทักษะด้านเทคโนโลยี และปรับใช้แนวทางการสอนที่สร้างสรรค์ ผ่านกรอบแนวคิด TPACK ให้ออกมาในรูปแบบการสอนของแบบดิจิทัลซึ่งจำเป็นต้องอยู่ในบริบทของตนเอง เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่น่าสนใจ มีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนและมีประสิทธิภาพ โดย GeoGebra ไม่เพียงช่วยเชื่อมโยงแนวคิดทางคณิตศาสตร์เชิงนามธรรมกับการประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง แต่ยังช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเรียนรู้ของตนเองผ่านการใช้คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือสมาร์ทโฟน ในการสำรวจ ตรวจสอบและทดลอง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การใช้ GeoGebra ประกอบกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน

ดังนั้นการประยุกต์ใช้เครื่องมือดิจิทัล เช่น GeoGebra ในการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ ช่วยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้พัฒนาความเข้าใจที่ลึกซึ้งในแนวคิดทางคณิตศาสตร์ เพิ่มพูนความคิดสร้างสรรค์ ส่งเสริมสร้างทักษะกระบวนการคิดเชิงคณิตศาสตร์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสามารถในการเรียนรู้ด้วยตนเอง และสร้างความเท่าเทียมในกระบวนการเรียนรู้ การศึกษาในยุคดิจิทัลจึงต้องเน้นความยืดหยุ่น ความทันสมัย และการตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียน เพื่อเตรียมพวกเขาให้พร้อมรับมือกับความท้าทายในโลกที่เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

References

- Akyuz, D. (2018). Measuring technological pedagogical content knowledge (TPACK) through performance assessment. *Computers & Education*, 125, 212–225.
- Alabdulaziz, M. S., Aldossary, S. M., Alyahya, S. A. and Althubiti, H. M. (2021). The effectiveness of the GeoGebra Programme in the development of academic achievement and survival of the learning impact of the mathematics among secondary stage students. *Education and Information Technologies*, 26(3), 2685–2713.
- Angeli, C., Valanides, N. and Christodoulou, A. (2016). Theoretical considerations of technological pedagogical content knowledge. In *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for educators (2nd ed.)*. New York: Routledge.
- Bueno, R., Lieban, D. and Ballejo, C. (2021). Mathematics teachers' TPACK development based on an online course with GeoGebra. *Open Education Studies*, 3(1), 110–119
- Cirneanu, A. L. and Moldoveanu, C. E. (2024). Use of digital technology in integrated mathematics education. *Applied System Innovation*, 7(4), 66.
- Dos Santos, J. M. D. S., Abar, C. A. A. P. and Almeida, M. V. D. (2022). Automatic Feedback GeoGebra Tasks – Searching and Opensource and Collaborative Intelligent Interactive Tutor. In *Proceedings of the 26th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2022)* (pp. 77-82). Florida: International Institute of Informatics and Cybernetics.
- Earle, R. S. (2002). The integration of instructional technology into public education: Promises and challenges. *ET Magazine*, 42(1), 5–13.
- Febriani, P. A., Mandailina, V., Abdillah, A., Syaharuddin, S. and Mehmood, S. (2024). Utilizing GeoGebra-assisted model-eliciting activities (MEAs) in mathematics instruction enhances students' comprehension of concepts and improves their problem-solving abilities. *Jurnal Inovasi Pembelajaran*, 10(1), 19–30.

- Gökçe, S. and Güner, P. (2022). Dynamics of GeoGebra ecosystem in mathematics education. **Education and Information Technologies**, 27(4), 1–23.
- Gupta, A., Rana, N. and Raj, M. (2024). Digital Media Skills among Different Stakeholders and their Attitude towards MOOCs in Higher Education Institutions. **Journal of Educational Science and Technology**, 10(1), 44-53.
- Hohenwarter, M. and Jones, K. (2007). Ways of linking geometry and algebra: the case of GeoGebra. **Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics**, 27(3), (pp. 126-131). Northampton: British Society for Research into Learning Mathematics.
- Kartal, B. and Çınar, C. (2024). Preservice mathematics teachers' TPACK development when they are teaching polygons with Geogebra. **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, 55(5), 1171-1203.
- Kartal, T., Kiziltepe, I. S. and Kartal, B. (2022). Extending technology acceptance model with scientific epistemological and science teaching efficacy beliefs: A study with preservice teachers. **Journal of Education in Science, Environment and Health**, 8(1), 1–16.
- Koehler, M. J., Mishra, P. and Yahya, K. (2007). Tracing the development of teacher knowledge in a design seminar: Integrating content, pedagogy and technology. **Computers & Education**, 49(3), 740–762.
- Marasabessy, R. and Helsa, Y. (2024). Fostering spatial visualization in GeoGebra-assisted geometry lesson: A systematic review and meta-analysis. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 20(9), em2509.
- Mishra, P. and Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, 108(6), 1017–1054.
- Mishra, P. and Koehler, M. J. (2008). Introducing technological pedagogical content knowledge. **Annual Meeting of the American Educational Research Association**, 1, 1-16.
- Narciss, S. (2008). Feedback strategies for interactive learning tasks. **Handbook of research on educational communications and technology (3rd ed.)**. New York: Routledge.
- Nguyen, L. T. and Tuamsuk, K. (2022). Digital learning ecosystem at educational institutions: A content analysis of scholarly discourse. **Cogent Education**, 9(1), 2111033.
- Oregon Department of Education. (2023). **Digital learning instructional design and pedagogical considerations**. Retrieved 10 August 2024, from https://www.oregon.gov/ode/educator-resources/teachingcontent/EdTech/Documents/ODE_Digital%20Learning%20Playbook.pdf
- Özgün-Koca, S. A., Meagher, M. and Edwards, M. T. (2010). Preservice teachers' emerging TPACK in a technology-rich methods class. **The Mathematics Educator**, 19(2), 10–20.
- Phoodee, W. (2020). Mathematics instruction in digital age: Methods and tools (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(2), 190-199.
- Phoodee, W. (2023). Effects of Student Self-Assessment and Using GeoGebra™ on Students' Achievements and Self-Directed Learning in Mathematics Lessons in a Junior High Classroom. **Southeast Asian Mathematics Education Journal**, 13(2), 141-160.
- Sugandi, A. I. and Bernard, M. (2020). Application of GeoGebra software to improve problem-solving skills in analytic geometry in prospective teachers and students. **Journal of Physics: Conference Series**, 1657(1), 012077.