

สองทศวรรษที่ผ่านมาถือเป็นยุคแห่งการศึกษาวิทยาศาสตร์ทั่วโลกที่เน้นเรื่อง “Science for All” ในช่วงเวลาดังกล่าว เป้าหมายหลักของกระบวนทัศน์การศึกษาวิทยาศาสตร์ได้เปลี่ยนจากการเตรียม นักวิทยาศาสตร์ในอนาคตมาเป็นการให้การศึกษาแก่พลเมืองในอนาคต ดังนั้น กระบวนทัศน์ปัจจุบันจึงเน้นที่ ปัญหาสิ่งแวดล้อมและสิ่งแวดล้อมในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ความพยายามใดๆ ที่จะพัฒนาให้นักเรียนมีความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมโดยขาดความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทางกายภาพโดยทั่วไป จะไม่สามารถทำได้เกินกว่ากิจกรรมยอดนิยม เช่น การรีไซเคิลหรือการทำความสะอาดสนามโรงเรียน

ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมและระบบโลก

เพื่อพัฒนาความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องกำหนดหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสิ่งแวดล้อมให้มั่นคง นักเรียนที่เข้าใจสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นและกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นอาจมีเครื่องมือที่ดีกว่าในการประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และอาจรู้วิธีที่จะอยู่ร่วมกับสิ่งแวดล้อมเหล่านั้นอย่างสันติ (Mayer & Armstrong, 1990; Brody, 1993) อย่างไรก็ตาม การมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ ปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะทำให้นักเรียนสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมดังกล่าว ดังนั้น เป้าหมายหลักของการศึกษาวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนควรเป็นการทำให้นักเรียนเกิดทักษะที่จำเป็นในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำ ให้เป็นความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่สอดคล้องกันมากขึ้น

Mayer (1995) แนะนำว่าเป้าหมายดังกล่าวอาจบรรลุได้ด้วยแนวทางระบบโลก (earth systems approach) แนวทางนี้มองโลกเป็นระบบเดียวซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลัก 4 ระบบ ได้แก่ ธรณีภาค (geosphere), อุทกภาค (hydrosphere), บรรยากาศ (atmosphere) และชีวมณฑล (biosphere) (รวมถึงมนุษย์) Orion (2002) แนะนำโมเดลเชิงปฏิบัติสำหรับการใช้แนวทางระบบโลกเป็นกรอบสำหรับหลักสูตร วิทยาศาสตร์ โมเดลนี้เน้นการศึกษาเกี่ยวกับวัฏจักรทางธรณีเคมีและชีวธรณีเคมี รวมถึงวัฏจักรหิน วัฏจักรน้ำ ห่วงโซ่อาหาร วัฏจักรคาร์บอน และวัฏจักรพลังงาน ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยต่างๆ ในแง่ของการเปลี่ยนผ่านของสสารและพลังงานจากระบบย่อยหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่ง นอกจากนี้ ยังได้มีการเสนอแนะว่า ควรอภิปรายเกี่ยวกับการศึกษาเกี่ยวกับวัฏจักรธรรมชาติในบริบทของอิทธิพลที่มีต่อชีวิตประจำวันของผู้คน เช่น มลพิษในแม่น้ำ คุณภาพน้ำดื่ม และการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน

Orion (2003) ยืนยันว่าการทำความเข้าใจระบบย่อยต่างๆ ของโลกและสิ่งแวดล้อมโดยรวมนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้มนุษย์สามารถอยู่ร่วมกับสิ่งแวดล้อมได้อย่างสันติ ความเข้าใจนี้คือสิ่งที่วิทยาศาสตร์ต้องการอย่างแท้จริง ตัวอย่างเช่น พื้นที่โลกส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยน้ำ และน้ำส่วนใหญ่พบได้ในมหาสมุทร การเรียนรู้เกี่ยวกับระบบน้ำของโลกจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจถึงบทบาทสำคัญของระบบน้ำในระบบนิเวศของโลก นอกจากนี้ นักเรียนยังจะเข้าใจด้วยว่าแหล่งน้ำขนาดใหญ่ เช่น Great Lakes ในสหรัฐอเมริกา มีอิทธิพลอย่างมากต่อสภาพอากาศและภูมิอากาศของภูมิภาคที่แหล่งน้ำดังกล่าวตั้งอยู่ และทั้งทะเลสาบขนาดใหญ่และมหาสมุทรต่างก็มีปฏิสัมพันธ์กับบรรยากาศผ่านวัฏจักรน้ำ เมื่อนักเรียนพัฒนาความเข้าใจเหล่านี้ พวกเขาจะตระหนักถึงความสำคัญของน้ำจืดและน้ำเค็มต่อการดำรงอยู่ของชีวิตบนโลก

ระบบโลกและความหมายของระบบ

Kali, Orion และ Elon (2003) แนะนำว่าความสามารถของนักเรียนในการเกี่ยวข้องกับระบบทางธรณีเคมีและชีวธรณีเคมีที่ซับซ้อนนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการพัฒนาการรับรู้เกี่ยวกับโลกของเราในเชิงพลวัต เชิงวัฏจักร และเชิงระบบ ดังนั้น การสอนแนวทางระบบโลกจึงต้องอาศัยความเข้าใจแนวคิดของระบบ

คำว่า “ระบบ” เป็นแนวคิดกว้างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหลายพื้นที่ เช่น ระบบสังคม ระบบเทคโนโลยี และระบบธรรมชาติ ดังนั้น หัวข้อนี้จึงได้รับการศึกษาจากมุมและจุดที่น่าสนใจต่างๆ (Kim, 1999; Mandinach, 1989; O'Connor & McDermott, 1997; Penner, 2000) ดูเหมือนว่าลักษณะเฉพาะของ “ระบบ” ต่อไปนี้จะแสดงถึงการศึกษาส่วนใหญ่เหล่านี้: ระบบคือหน่วยที่คงการดำรงอยู่และทำงานเป็นองค์รวมผ่านปฏิสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของมัน อย่างไรก็ตาม กลุ่มของส่วนต่างๆ ที่ปฏิสัมพันธ์กัน เกี่ยวข้องกัน หรือพึ่งพากันซึ่งประกอบกันเป็นองค์รวมที่ซับซ้อนและเป็นหนึ่งเดียวนี้จะต้องมีจุดประสงค์ที่เฉพาะเจาะจง และเพื่อให้ระบบดำเนินตามจุดประสงค์ได้อย่างเหมาะสม ส่วนต่างๆ ทั้งหมดจะต้องมีอยู่ ดังนั้น ระบบจึงพยายามรักษาเสถียรภาพของมันผ่านการป้อนกลับ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชื่อมโยงกันด้วยวงจรป้อนกลับและสาเหตุ ดังนั้น สถานะของตัวแปรหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้นจึงส่งผลต่อสถานะของตัวแปรตัวอื่นๆ อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติที่สามารถระบุได้ในระบบโดยรวมไม่ใช่คุณสมบัติของส่วนประกอบแต่ละส่วนที่ประกอบกันเป็นระบบ

สิ่งที่วรรณกรรมบอกเกี่ยวกับการรับรู้เกี่ยวกับระบบของนักเรียน

ความยากลำบากของนักเรียนในการจัดการกับความซับซ้อนของระบบไม่ใช่เรื่องน่าแปลกใจและเกิดขึ้นในทุกยุคทุกสมัย Hmelo, Holton และ Kolodner (2000) รายงานว่านักเรียนชั้นปีที่ 6 มีปัญหาในการเรียนรู้เกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ พวกเขาบอกเป็นนัยว่าความยากลำบากของนักเรียนเกิดจากความไม่สามารถเข้าใจได้ว่าระบบของมนุษย์มีคุณสมบัติหลายอย่างที่ทำงานในระดับมหภาคและจุลภาคนอกจากนี้ พวกเขายังระบุด้วยว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะเข้าใจระบบเหล่านี้ในระดับต่างๆ หากไม่เข้าใจการทำงานของระบบทั้งหมด

ความซับซ้อนในกระบวนการทำความเข้าใจระบบปรากฏให้เห็นในการศึกษาวิทยาศาสตร์โลกด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น เมื่อนักเรียนมัธยมต้นถูกขอให้บรรยายระบบทางกายภาพ เช่น วัฏจักรของน้ำ Ben-Zvi-Assaraf และ Orion (2004a) เปิดเผยว่านักเรียนรับรู้ “วัฏจักรของน้ำ” เป็นชุดของชิ้นความรู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกัน นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการต่างๆ ของธรณีวิทยาชีวภาพทางน้ำ แต่ขาดการรับรู้เกี่ยวกับระบบในเชิงพลวัต เชิงวัฏจักร และเชิงระบบ ผลการศึกษาของพวกเขาชี้ให้เห็นว่าความสามารถของนักเรียนในการรับรู้ทุกภาคในฐานระบบที่มีความสอดคล้องกันนั้นขึ้นอยู่กับความรู้ทางวิทยาศาสตร์และความสามารถทางปัญญา (cognitive abilities) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การคิดแบบวัฏจักรและการคิดเชิงระบบ ซึ่งเป็นความสามารถในการรับรู้วัฏจักรน้ำในบริบทของความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรกับระบบอื่นๆ บนโลก Kali et al. (2003) ยังได้รายงานเกี่ยวกับความยากลำบากของนักเรียนในการพัฒนาการคิดเชิงระบบของวัฏจักรหิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับกรอบทางปัญญากับมุมมองแบบพลวัตและแบบวัฏจักรของระบบ อย่างไรก็ตาม ความบกพร่องทางปัญญาไม่ได้จำกัดอยู่แค่เฉพาะนักเรียนชั้นมัธยมต้นและมีัยมปลายเท่านั้น Booth Sweeny (2000) ศึกษาทักษะการคิดเชิงระบบของนักเรียนจากโรงเรียนธุรกิจที่ MIT ซึ่งมีความรู้พื้นฐานด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์อย่างมั่นคง แต่ไม่เคยได้รับความรู้เกี่ยวกับแนวคิดพลวัตของระบบมาก่อน เธอใช้ system-thinking inventory เพื่อประเมินแนวคิดเฉพาะของการคิดเชิงระบบ เช่น การป้อนกลับ ความล่าช้า สต็อก และการไหล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าบุคคลที่ได้รับการศึกษาสูงเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงระดับความเข้าใจที่ไม่ดีนักในแนวคิดพื้นฐานบางประการของพลวัตของระบบ โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างสต็อก

และการไหล และความล่าช้าของเวลา ตัวอย่างเช่น บุคคลเหล่านี้มักจะไม่ทราบถึงความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างสต็อกและการไหล รวมถึงการอนุรักษ์สสาร

วรรณกรรมบอกระบบเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบ

การคิดเชิงระบบ (System thinking) ได้รับความนิยมในสาขาการจัดการองค์กรในช่วงไม่นานมานี้ ตัวอย่างเช่น Senge (1990) เรียกการคิดเชิงระบบว่าวินัย 5 ประการที่เป็น "ตัวเร่งปฏิกิริยาและรากฐานขององค์กรแห่งการเรียนรู้ที่ช่วยให้ประสบความสำเร็จ" เขาเสนอว่าการคิดเชิงระบบเป็นแนวคิดที่เน้นการรับรู้ถึงความเชื่อมโยงระหว่างส่วนต่างๆ ของระบบ จากนั้นจึงสังเคราะห์แนวคิดเหล่านี้ให้เป็นมุมมององค์รวม นอกจากนี้ ยังเกี่ยวข้องกับการจดจำแบบแผนและความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และการเรียนรู้วิธีการจัดโครงสร้างความสัมพันธ์เหล่านั้นให้เป็นวิธีการคิดที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น

Ullmer (1986) กล่าวว่าแนวทางระบบคือทัศนคติของจิตใจในการเผชิญกับความซับซ้อน สะท้อนถึงการค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่างๆ ในสถานการณ์ที่มีปัญหา Senge (1990) ชี้ให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างโมเดลทางจิต (mental models) และการคิดเชิงระบบ เขาอ้างถึงการคิดเชิงระบบว่าเป็นกรอบแนวคิดของความรู้ หลักการ และเครื่องมือต่างๆ ที่ทำให้สามารถสังเกตความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน ซึ่งจำเป็นต่อการกำหนดแบบแผนที่เปลี่ยนแปลงได้และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น Senge (1990) และคนอื่นๆ (Kim, 1999; O'Connor & Mcdermott, 1997; Waring, 1996) อ้างว่านักคิดเชิงระบบสามารถเปลี่ยนโมเดลทางจิตของตนเอง ควบคุมวิธีคิด และจัดการกับกระบวนการแก้ปัญหาได้ พวกเขาเสนอว่าภายในระบบนั้น "เหตุและผล" อาจไม่เกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดในเวลาและพื้นที่ ดังนั้นกลไกอย่างหนึ่งของการใช้การคิดเชิงระบบในสถานการณ์การแก้ปัญหาจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการขยายขอบเขตของระบบและเปิดเผยมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบ ในระบบองค์กร มิติของสิ่งนี้แสดงออกมาโดยปัจจัยทางสังคม เช่น ค่านิยม ความเชื่อ และผลประโยชน์ที่ซ่อนเร้นอยู่ นอกจากนี้ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบในมิติเวลา เราควรนำเสนอทักษะการคิดแบบย้อนหลัง (การมองย้อนหลัง) และการคิดแบบไปข้างหน้า (การทำนาย)

นักวิจัยคนอื่นๆ (Booth Sweeny, 2000; Draper, 1993; Frank, 2000; Ossimitz, 2000) แนะนำว่าทักษะการคิดเชิงระบบเฉพาะได้แก่ ความสามารถทางปัญญา เช่น (ก) การคิดในแง่ของกระบวนการพลวัต (ความล่าช้า วงจรป้อนกลับ การแกว่ง), (ข) การทำความเข้าใจว่าพฤติกรรมของระบบเกิดขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ของตัวแทนในแต่ละช่วงเวลาอย่างไร (ความซับซ้อนแบบพลวัต), (ค) การค้นพบและการแสดงกระบวนการป้อนกลับที่เป็นพื้นฐานของแบบแผนพฤติกรรมของระบบที่สังเกตได้, (ง) การระบุความสัมพันธ์ระหว่างสต็อกและการไหล (จ) การรับรู้ถึงความล่าช้าและการเข้าใจถึงผลกระทบของความล่าช้า, (ฉ) การระบุความไม่เชิงเส้น และ (ช) การคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific thinking) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการวัดปริมาณความสัมพันธ์ ตลอดจนการตั้งสมมติฐานและการทดสอบสมมติฐานและโมเดล

ประเภทการคิดที่จำเป็นต่อการทำความเข้าใจระบบได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางในสาขาวิศวกรรมและธุรกิจ Frank (1999) ระบุถึงลักษณะทางปัญญาและบุคลิกภาพของวิศวกรที่มีทักษะ "การคิดเชิงระบบ วิศวกรรม" สูง จากผลการศึกษาของเขา Frank (2000) ได้ "ดัดแปลง" และขยายความหมายของ Senge ที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบวิศวกรรม และเสนอ "กฎการคิดเชิงระบบวิศวกรรม" จำนวน 30 กฎ ซึ่งจากกฎดังกล่าว เราสามารถออกแบบหลักสูตรสำหรับการสร้าง "การคิดเชิงระบบวิศวกรรม" ได้ Frank (2000) ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดระหว่างลักษณะการคิดเชิงระบบขั้นต้นกับทักษะการคิดขั้นสูง (higher-order thinking skills) อื่นๆ ในทำนองเดียวกัน Booth Sweeny (2000) กล่าวว่า การคิดเชิงระบบที่มีประสิทธิผลยังต้องการทักษะการใช้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ที่ดี เช่น ความสามารถในการใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ

และเชิงปริมาณที่หลากหลาย ความสามารถเหล่านี้เกิดจากความสามารถในการคิดขั้นสูง Resnick (1987) ชี้ให้เห็นว่าการคิดเชิงวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ การแก้ปัญหา การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการปรับปรุงความคิดในรูปแบบที่สร้างสรรค์ ล้วนเกี่ยวข้องกับลักษณะการคิดขั้นสูงที่ซับซ้อน

แม้ว่า Senge (1990) จะเน้นที่ระบบเศรษฐกิจและสังคมเป็นหลัก รวมถึงการวิเคราะห์องค์กรที่ซับซ้อน แต่โปรดทราบว่าความคิดเชิงระบบถือเป็นทักษะขั้นสูงที่จำเป็นในสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และชีวิตประจำวัน แต่ยังมีข้อมูลน้อยมากเกี่ยวกับการคิดเชิงระบบในบริบทของการศึกษาวิทยาศาสตร์

ในสาขาการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของการคิดเชิงระบบ พลวัตของระบบที่พัฒนาโดย Forrester (1968) พยายามที่จะทำความเข้าใจพฤติกรรมของปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนในช่วงเวลาต่างๆ โดยอาศัยแนวคิดเรื่องการเปลี่ยนแปลง พลวัตของระบบจะใช้การจำลองสถานการณ์และแบบจำลองคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวแปรต่างๆ ต่อมา Mandinach (1989) และ Steed (1992) รายงานว่าซอฟต์แวร์ STELLA (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation) ช่วยอธิบายความเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการของระบบและโครงสร้างของระบบ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานจะเกิดขึ้นขณะที่โมเดล STELLA สร้างและปรับเปลี่ยน ดังนั้น พลวัตของระบบจึงเป็นแนวทางในการทำความเข้าใจความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ในระบบและองค์ประกอบเหล่านี้มีส่วนสนับสนุนต่อภาพรวมทั้งหมดอย่างไร Mandinach (1989) นำเสนอโครงการ Systems Thinking and Curriculum Innovation (STACI) ซึ่งตรวจสอบผลกระทบการเรียนรู้ทางปัญญาและหลักสูตรจากแนวทางการคิดเชิงระบบในขณะที่ใช้ซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ Stella ในหลักสูตรมัธยมต้นเพื่อสอนความรู้เฉพาะเนื้อหา ตลอดจนเพื่อเสริมสร้างทักษะการแก้ปัญหาโดยทั่วไป

การศึกษาอีกกรณีหนึ่งที่ดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่สนับสนุนด้วยคอมพิวเตอร์ คือการศึกษาของ Penner (2000) ซึ่งมุ่งเน้นไปที่กลุ่มนักเรียนมัธยมต้นกลุ่มเล็กๆ ขณะที่พวกเขาพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับระบบที่เกิดขึ้นใหม่ ระบบดังกล่าวมีความโดดเด่นในความจริงที่ว่าคุณสมบัติในระดับมหภาคเกิดขึ้นเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ในระดับจุลภาคระหว่างส่วนประกอบของระบบ นอกจากนี้ Penner ยังบรรยายถึงความเข้าใจเริ่มต้นของนักเรียนเกี่ยวกับระบบที่เกิดขึ้นใหม่ ตลอดจนวิธีการที่ความคิดของพวกเขาสะท้อนถึงหลักการต่อไปนี้: (ก) การรับรู้ว่าอาจไม่มีแรงผลักดันเชิงเหตุปัจจัยเดียวที่อยู่เบื้องหลังระบบ (ข) การแยกความแตกต่างระหว่างระดับการวิเคราะห์จุลภาคและมหภาค และ (ค) การเข้าใจว่าการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยในระดับจุลภาคก็อาจส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในระดับมหภาค การศึกษาวิจัยของ Penner เผยให้เห็นว่านักเรียนมัธยมต้นอาจมีประสบการณ์ในการคิดเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับระบบที่ไม่เกิดขึ้นบ่อยนัก ดังนั้น เขาจึงเสนอว่านักการศึกษาวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องพิจารณาประเภทของกิจกรรมที่จะช่วยให้ผู้เรียนคิดเกี่ยวกับระบบที่เกิดขึ้นใหม่ในบริบทของโลกแห่งความเป็นจริงได้ดีที่สุด นอกจากนี้ เขายังชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการศึกษาแนวทางที่ความรู้เฉพาะโดเมนและแบบองค์รวมเชิงอธิบายเป็นแนวทางในการเรียนรู้เกี่ยวกับระบบเฉพาะ

สาขาวิชาที่โดดเด่นสาขาหนึ่งที่เผชิญกับความท้าทายทางการศึกษาทั้งสองประการนี้ คือการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์โลก Gudovitch (1997) ซึ่งศึกษาการคิดเชิงระบบของนักเรียนมัธยมปลาย ได้พัฒนาหลักสูตรที่เน้นระบบในบริบทของวัฏจักรคาร์บอน Gudovitch ได้สำรวจความรู้และการรับรู้ก่อนหน้าของนักเรียนเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมทั่วโลกโดยทั่วไป และบทบาทของมนุษย์ในระบบธรรมชาติเฉพาะ สิ่งสำคัญคือ หน่วยการศึกษานี้จัดให้มีแนวทางการกระตุ้นให้นักเรียนสำรวจระบบวัฏจักรคาร์บอน ซึ่งความก้าวหน้าของนักเรียนในโมเดลการคิดเชิงระบบประกอบด้วย 4 ขั้นตอน: ขั้นแรกประกอบด้วยทำความเข้าใจความคุ้นเคยกับระบบโลกที่แตกต่างกัน และการรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงทางวัฏระหว่างระบบเหล่านี้ ขั้นที่สองประกอบด้วยความ

เข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางวัตถุนี้ ขั้นที่สามประกอบด้วยความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงแลกเปลี่ยนกันระหว่างระบบ ขั้นที่สี่ประกอบด้วยการรับรู้ระบบโดยรวม หลักการเดียวกันนี้เป็นแนวทางของ Kali et al. (2003) ซึ่งได้กำหนดลักษณะแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับระบบวัฏจักรหินตามโปรแกรมที่ศึกษาผลกระทบของการสรุปกิจกรรมบูรณาการต่อการคิดเชิงระบบของนักเรียน พวกเขา รายงานว่าในขณะที่ตอบแบบสอบถามปลายเปิด นักเรียนจะนำเสนอความต่อเนื่องของการคิดเชิงระบบ ตั้งแต่ มุมมองระบบที่คงที่อย่างสมบูรณ์ไปจนถึงความเข้าใจถึงธรรมชาติเชิงวัฏจักรของระบบ อย่างไรก็ตาม Kali et al. (2003) แสดงให้เห็นว่าการทำความเข้าใจระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น วัฏจักรน้ำหรือวัฏจักรคาร์บอน ต้อง ใช้การคิดเชิงระบบในระดับสูงเกี่ยวกับระบบต่างๆ ของโลกแต่ละระบบ นอกจากนี้ พวกเขายังเน้นย้ำถึง ความสำคัญของทักษะการคิดแบบวัฏจักรและแบบพลวัตในฐานะเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ระบบโลก

การวิจัยเกี่ยวกับประเภทของการคิดที่จำเป็นสำหรับการทำความเข้าใจระบบโลกนั้นเกี่ยวข้องกับ ลักษณะของการคิดเชิงระบบซึ่งได้รับการนิยามไว้โดยทั่วไปในสาขาวิศวกรรม องค์กร และธุรกิจ

อย่างไรก็ตาม มีการเสนอแนะว่าทักษะการคิดเชิงระบบอื่นๆ ที่กล่าวถึงในบริบทของสาขาวิชาเหล่านี้มีความสำคัญเช่นกันในขณะที่ใช้การคิดเชิงระบบในสถานการณ์การแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม Orion (2002) ยืนยันว่าเนื่องจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติเป็นระบบของระบบย่อยทางธรรมชาติที่มีปฏิสัมพันธ์กัน นักเรียนจึงควรเข้าใจว่าการจัดการใดๆ ในส่วนหนึ่งของระบบที่ซับซ้อนนี้อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบทางกายภาพ เช่น โลก ยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการขยายขอบเขตของระบบ และ เปิดเผยมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบอีกด้วย มิติดังกล่าวนี้นี้แสดงโดยองค์ประกอบที่อาจมองไม่เห็นว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบ เช่น น้ำใต้ดินหรือบรรยากาศ การวิเคราะห์ปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำใต้ดินเกี่ยวข้องกับ คำถาม เช่น อะไรเป็นสาเหตุของมลพิษทางน้ำใต้ดิน? ผลลัพธ์ของมลพิษในระบบน้ำใต้ดินจะเป็นอย่างไร? มนุษย์จะได้รับผลกระทบอย่างไร? สารเคมีเหล่านั้นจะคงอยู่ในชั้นหินได้นานแค่ไหน? ความสามารถในการ จัดการกับคำถามดังกล่าวต้องอาศัยทักษะการคิดแบบย้อนหลัง (การมองย้อนกลับไป) และการคิดแบบ คาดการณ์ (การคิดไปข้างหน้า) ด้วย

การทบทวนวรรณกรรมข้างต้นเผยให้เห็นลักษณะการคิดเชิงระบบที่เกิดขึ้นใหม่ 8 ประการ ต่อไปนี้คือ ลักษณะเฉพาะเหล่านี้และการแสดงออกของแต่ละลักษณะในบริบทของระบบวัฏจักรน้ำ:

1. *ความสามารถในการระบุส่วนประกอบของระบบและกระบวนการภายในระบบ* ความหมายของคุณลักษณะนี้ที่เกี่ยวข้องกับระบบวัฏจักรน้ำ คือความสามารถในการระบุส่วนประกอบ เช่น มหาสมุทร แม่น้ำ ทะเลสาบ ธารน้ำแข็ง แผ่นน้ำแข็ง ฝน และเมฆ และกระบวนการ เช่น การระเหย การควบแน่น การตกตะกอน การซึมผ่าน การไหลใต้ดินและผิวดิน การละลาย การแข็งตัว และการละลาย
2. *ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ:* การแสดงออกถึงลักษณะเฉพาะนี้ภายในระบบวัฏจักรน้ำ เช่น การยอมรับความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบของ สารละลายน้ำและหินที่น้ำไหลผ่าน หรือการเข้าใจว่าแม่น้ำที่เป็นมลพิษอาจส่งผลโดยตรงต่อ คุณภาพน้ำ
3. *ความสามารถในการจัดระเบียบส่วนประกอบและกระบวนการของระบบภายในกรอบความสัมพันธ์:* รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างที่ดีของกรอบดังกล่าวในบริบทของระบบวัฏจักรน้ำ
4. *ความสามารถในการสร้างหลักการหรือกฎเกณฑ์ทั่วไป:* การสรุปเป็นหลักการทั่วไปดังกล่าวอาจ แสดงออกมาภายในวัฏจักรน้ำ โดยเข้าใจว่าระบบนี้เป็นแบบพลวัตและเป็นวัฏจักร ความเข้าใจนี้ สามารถนำไปใช้ในภายหลังเพื่อป้องกันภัยคุกคามต่อสิ่งแวดล้อมในบริบทของระบบอุทกภาค

5. *ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตภายในระบบ:* การทำความเข้าใจการเปลี่ยนรูปของสสารภายในระบบโลกเกี่ยวข้องกับการระบุความสัมพันธ์เชิงพลวัตภายในระบบวัฏจักรของน้ำ เช่น อิทธิพลของมนุษย์ที่มีต่อน้ำใต้ดินผ่านมลพิษจากปุ๋ยและยาฆ่าแมลง น้ำซึมผ่านหินทรายน้ำละลายแร่ธาตุภายในหิน
6. *เข้าใจมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบ:* รับรู้แบบแผนและความสัมพันธ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้บนพื้นผิวโลก ระบบอุทกภาคเป็นตัวอย่างที่ดีของลักษณะนี้ เนื่องจากส่วนที่มีความหมายของระบบนี้ตั้งอยู่ใต้พื้นผิว
7. *ความสามารถในการเข้าใจธรรมชาติของระบบแบบวัฏจักร:* ความเข้าใจระบบวัฏจักรน้ำในฐานะระบบรวมถึงแนวคิดที่ว่าเราอาศัยอยู่ในโลกที่เป็นวัฏจักร ระบบวัฏจักรน้ำประกอบด้วยวัฏจักรย่อยหลายวัฏจักร เช่น (รูปที่ 6): การระเหยและการเชื่อมต่อการตกตะกอนในมหาสมุทรและพื้นดิน การตกตะกอนและการเชื่อมต่อการผ่านแม่น้ำจากพื้นดินสู่ทะเล และการซึมผ่านและการเชื่อมต่อการดักน้ำใต้ดินหรือการคายน้ำจากพืช
8. *การคิดตามกาลเวลา: การมองย้อนหลังและการคาดการณ์:* การเข้าใจว่าปฏิสัมพันธ์บางส่วนที่แสดงออกภายในระบบเกิดขึ้นในอดีต ในขณะที่เหตุการณ์ในอนาคตอาจเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ในปัจจุบัน แนวคิดนี้แสดงออกภายในระบบอุทกภาค เช่น ผ่านความสามารถในการเข้าใจว่าคุณภาพน้ำดื่มในพื้นที่เฉพาะในปัจจุบันเป็นผลมาจากเหตุการณ์และกระบวนการที่น้ำนี้ผ่านมาตลอดทางธรณีวิทยาและประวัติศาสตร์ของมนุษย์ ความสามารถในการคาดการณ์อาจแสดงออกมาได้ เช่น โดยการพยายามคาดการณ์อิทธิพลของโรงงานอุตสาหกรรมหรือการก่อสร้างทางด่วนในพื้นที่เฉพาะต่อคุณภาพของน้ำในภูมิภาคเหล่านั้น

คำถามการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือการประเมินการพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบในบริบทของระบบโลกในหมู่นักเรียนมัธยม โดยจะเกี่ยวข้องกับคำถามการวิจัยต่อไปนี้โดยเฉพาะ:

1. นักเรียนมัธยมอาจต้องรับมือกับระบบที่ซับซ้อนหรือไม่?
2. อะไรส่งผลต่อความสามารถของนักเรียนในการพัฒนาการคิดเชิงระบบ?
3. องค์ประกอบทางปัญญาของการคิดเชิงระบบมีความสัมพันธ์กันอย่างไร?

วิธีการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างของการศึกษานี้ประกอบด้วยนักเรียนมัธยมต้น (ชั้นปีที่ 8) จำนวน 70 คนจาก 3 โรงเรียนในสองโรงเรียนที่แตกต่างกัน ทั้งสองโรงเรียนตั้งอยู่ในเขตเมืองที่มีประชากรหนาแน่นมากทางชายฝั่งตอนกลางของอิสราเอล ประชากรชาวอิสราเอลประมาณ 90% อาศัยอยู่ในภูมิภาคนี้ของประเทศ และโรงเรียนทั้งสองแห่งเป็นโรงเรียนประจำที่เป็นตัวแทนของโรงเรียนมัธยมต้นส่วนใหญ่ในอิสราเอลทั้งในด้านนักเรียนและครู แต่ละชั้นเรียนมีนักเรียนประมาณ 23 คนจากภูมิหลังทางเศรษฐกิจและสังคมที่หลากหลายจากลักษณะเฉพาะในแต่ละชั้นเรียนของครู พบว่านักเรียนประมาณ 25% ในแต่ละชั้นเรียนมีปัญหาทางปัญญาหรือพฤติกรรม ส่งผลให้ครูประสบปัญหาในการส่งเสริมให้นักเรียนทำงานร่วมกันในกระบวนการเรียนรู้ ครูได้นิยามชั้นเรียนเหล่านี้ว่าเป็นชั้นเรียนทั่วไปที่พวกเขาสอนมาอย่างน้อย 10 ปีแล้ว สิ่งสำคัญคือต้องทราบว่าภูมิ

หลังทางเศรษฐกิจและสังคมและลักษณะทางปัญญาของกลุ่มตัวอย่างนี้เป็นตัวแทนของชั้นเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นประมาณ 80% ในเมืองต่างๆ ของอิสราเอล

ตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของ Israeli Ministry of Education หัวข้อวิทยาศาสตร์ทั้งหมดในระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาจะได้รับการสอนในรูปแบบวิชาบูรณาการ: "วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี" อย่างไรก็ตาม ครูส่วนใหญ่ที่สอนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาได้รับการฝึกอบรมให้เป็นครูสอนวิชาชีววิทยาเท่านั้น ดังนั้นครูวิทยาศาสตร์ 2 คนที่สอนในชั้นเรียนนี้จึงได้เข้าร่วมโปรแกรมฝึกอบรมระหว่างปฏิบัติงานเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ซึ่งเป็นการดำเนินกิจกรรมการสอนของโปรแกรม "Blue Planet" เป็นเวลา 6 เดือน

โครงสร้างการวิจัย

โครงสร้างการวิจัยประกอบด้วย 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1: การพัฒนาจุดหมายการเรียนรู้ เพื่อศึกษาว่านักเรียนมัธยมต้นจะจัดการกับระบบโลกที่ซับซ้อนได้อย่างไร นักเรียนควรได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การสำรวจเนื้อหาการเรียนรู้ทั้งหมดเบื้องต้นสำหรับระดับมัธยมต้นเผยให้เห็นว่าไม่มีโปรแกรمدังกล่าว ดังนั้น ขั้นตอนแรกของการศึกษาคือการพัฒนาโปรแกรมการศึกษาเน้นสิ่งแวดล้อมแบบสหวิทยาการสำหรับนักเรียนมัธยมต้น โปรแกรมที่มีชื่อว่า "The Blue Planet" เน้นที่การขนส่งน้ำภายในระบบโลก และอิงตามอนุกรมวิธานวัฏจักรของน้ำ ซึ่งใช้โดยชุมชนวิทยาศาสตร์ด้านอุทกธรณีวิทยา (Schlesinger, 1991) ประกอบด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการและการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้กลางแจ้ง 45 ชั่วโมง กิจกรรมเหล่านี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถคิดเชิงระบบในบริบทของวัฏจักรน้ำ นักเรียนทุกคนเคยเรียนรู้เกี่ยวกับวัฏจักรน้ำในชั้นประถมศึกษา ดังนั้น หน่วยการเรียนรู้ในระดับนี้จึงเน้นที่ส่วนประกอบพื้นฐานของวัฏจักรน้ำเป็นหลัก โดยเน้นที่บริบททางกายภาพ (เช่น การระเหย การควบแน่น และการตกตะกอน) นักเรียนยังได้สัมผัสกับด้านต่างๆ ของธรณีภาค (เช่น การแทรกซึม หิน และน้ำใต้ดิน) ในหน่วยการเรียนรู้ที่เน้นวิชาสังคมศึกษา (ภูมิศาสตร์) อย่างไรก็ตาม หน่วยการเรียนรู้ดังกล่าวละเลยด้านวิทยาศาสตร์ของวัฏจักรน้ำและการนำมันไปใช้ด้านสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากการศึกษาโปรแกรม "Blue Plant" ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบหลักของกลุ่มการปฏิบัติ จึงควรระบุคุณลักษณะหลักๆ ไว้ด้านล่างนี้:

การระบุ "เรื่องหน้าปก" ด้านสิ่งแวดล้อมที่สมจริง "เรื่องหน้าปก" ของโปรแกรมคือคำถามที่ว่า "เราควรดำเนินการอย่างไรเพื่อรักษาแหล่งน้ำของเรา" เพื่อตอบคำถามนี้ นักเรียนต้องสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างระบบโลกและระหว่างระบบต่างๆ กับมนุษย์

ปรากฏการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริงในฐานะบริบทของการเรียนรู้ที่มีความหมาย สภาพแวดล้อมการเรียนรู้กลางแจ้งถือเป็นส่วนสำคัญและเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม ตลอดโปรแกรม นักเรียนได้สำรวจปรากฏการณ์ต่างๆ ต่อไปนี้: น้ำพุ ถ้ำหินงอก แม่น้ำที่มีมลพิษใกล้บ้านเกิดของพวกเขา และโรงงานบำบัดน้ำ

ความเข้าใจธรรมชาติของระบบน้ำบนโลก การสำรวจองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำควรช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงความสัมพันธ์ซึ่งกันระหว่างระบบโลกและมนุษย์ ต่อมา พวกเขาได้เปรียบเทียบคุณภาพน้ำในสถานที่ต่างๆ และตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งได้มีการอภิปรายกันในห้องเรียน เช่น น้ำประปาที่ฉันดื่มกับน้ำแร่ที่ฉันซื้อแตกต่างกันอย่างไร? คุณสมบัติของสารละลายน้ำบนโลกเป็นอย่างไร? และใครมีอิทธิพลต่อน้ำใต้ดินที่ฉันดื่ม?

กิจกรรมบูรณาการความรู้ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสร้างวัฏจักรน้ำเป็นระบบพลวัตและหมุนเวียน นักเรียนได้เข้าร่วมกิจกรรมบูรณาการความรู้หลายประเภท เช่น แผนที่แนวคิด การวาดภาพ และการสรุปประสบการณ์กลางแจ้ง ในกิจกรรมเหล่านี้ นักเรียนจะต้องนำเสนอความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในลักษณะที่เน้นย้ำถึงองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำและความสัมพันธ์ระหว่างกัน ในขณะที่ทำภารกิจเหล่านี้ นักเรียนจะต้องระบุองค์ประกอบของระบบ สร้างความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ และจัดระเบียบและวางองค์ประกอบเหล่านี้ไว้ในกรอบของการเชื่อมโยง การเชื่อมโยงเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นกลไกที่นักเรียนสามารถสร้างวัฏจักรทั้งหมดได้ ในการทำงานมอบหมายเหล่านี้ นักเรียนได้ระบุกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นภายในแหล่งน้ำ เช่น การระเหย การควบแน่น การตกตะกอน และการคายน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นกลไกการขนส่งน้ำภายในวัฏจักรน้ำ สำหรับคำอธิบายโดยละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับโปรแกรม โปรดดู Ben-Zvi-Assaraf & Orion (2004b)

ระยะที่ 2: การนำไปปฏิบัติและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ การนำโปรแกรมที่เน้นระบบโลกมาใช้ในโรงเรียนทำให้เราสามารถก้าวไปสู่ขั้นที่สองของการศึกษาได้ ขั้นตอนนี้เน้นไปที่การระบุปัจจัยต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถของนักเรียนในการจัดการกับการเข้าใจระบบ หากพิจารณาจากแนวทางการคิดเชิงระบบ เราอาจเรียกขั้นตอนนี้ว่าการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ สภาพแวดล้อมนี้โดยตัวมันเองดูเหมือนเป็นระบบที่ซับซ้อนซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อมทางกายภาพ (กลางแจ้ง ห้องเรียน และห้องปฏิบัติการ) วัสดุการเรียนรู้ ความสามารถทางปัญญาของนักเรียน และการมีส่วนร่วมของนักเรียนในกระบวนการเรียนรู้

ระยะที่ 3: การสังเคราะห์ ขั้นตอนที่ 3 ของการศึกษานี้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรที่ได้รับการวิเคราะห์ในขั้นตอนก่อนหน้า ขั้นตอนนี้ทำให้เราสามารถตอบคำถามการวิจัยข้อที่ 2 ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถของนักเรียนในการจัดการกับวัฏจักรน้ำในฐานะระบบได้ ขั้นตอนการสังเคราะห์ทำให้เราก้าวไปข้างหน้าอีกขั้นหนึ่งและสามารถสรุปผลโดยทั่วไปเกี่ยวกับความสัมพันธ์แบบลำดับขั้นที่มีอยู่ระหว่างส่วนประกอบทางปัญญาของการคิดเชิงระบบ

แนวทางการวิจัย

การตอบคำถามการวิจัยต้องควบคุมตัวแปรจำนวนมาก ดังนั้นเราจึงต้องใช้เครื่องมือวิจัยหลายตัว แนวทางการใช้เครื่องมือวิจัยหลายตัวทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยเดียวกันโดยใช้เครื่องมือวิจัยที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ข้อมูลแบบสามเส้าจากแหล่งต่างๆ ช่วยให้เราเพิ่มความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของเครื่องมือวิจัยได้ เพื่อให้ได้ภาพรวมของความรู้เดิมและความเข้าใจเกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำของนักเรียน ก่อนอื่น เราจะใช้เครื่องมือวิจัยเชิงปริมาณกับกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ จากนั้นใช้เครื่องมือวิจัยเชิงคุณภาพกับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กที่เลือกมาแบบสุ่มจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ วิธีนี้ช่วยให้เข้าใจถึงพัฒนาการของการคิดเชิงระบบในกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน รวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือเชิงปริมาณ

โดยสรุป เพื่อให้แน่ใจถึงความเที่ยงตรง ความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องของการศึกษาปัจจุบัน จึงมีการรวมคุณลักษณะต่อไปนี้:

1. การบูรณาการเทคนิคเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ
2. การอ้างอิงแหล่งที่มา (เช่น การสัมภาษณ์ การสังเกต และการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากแบบสอบถามกับผลที่ได้จากการสัมภาษณ์และการสังเกต)
3. การวิเคราะห์สามเส้า: การละเว้นหมวดหมู่ที่ไม่ได้ปรากฏในสัมภาษณ์อย่างน้อย 3 ครั้ง หรือในวิธีการรวบรวมข้อมูล 3 วิธีที่แตกต่างกัน

4. การถามค่าน: การถามคำถามซ้ำ
5. การนำเสนอผลการค้นพบต่อผู้เข้าร่วมการวิจัย เพื่อตรวจสอบระดับความสอดคล้องของผู้เข้าร่วมการวิจัยกับการตีความที่ได้รับ (ความถูกต้องของผู้ตอบแบบสอบถาม)
6. การบันทึกเทปการสัมภาษณ์
7. การอยู่ในพื้นที่วิจัยของนักวิจัยเป็นเวลานาน เพื่อตรวจสอบผู้เข้าร่วมการวิจัยอย่างละเอียดและหลีกเลี่ยงอิทธิพลของแนวคิดที่มีอคติให้มากที่สุด

เครื่องมือวิจัย

การรวบรวมข้อมูลนั้นใช้ชุดเครื่องมือวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพประมาณ 10 ชุด เนื่องจากลักษณะการคิดเชิงระบบมีความซับซ้อนสูง ความท้าทายหลักประการหนึ่งของการศึกษานี้คือการประเมินจุดแข็งและจุดอ่อนของเครื่องมือวิจัยแต่ละอย่างเพื่อกำหนดทักษะการคิดเชิงระบบเฉพาะที่อาจจะระบุได้ นอกจากนี้เนื่องจากเครื่องมือวิจัยส่วนใหญ่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการวิจัยนี้ จึงมีการทุ่มความพยายามอย่างมากเพื่อพิสูจน์ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือเหล่านั้น เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าวหนึ่งปีก่อนการศึกษาหลัก ได้มีการดำเนินการศึกษานำร่องกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กกับนักเรียนชั้นปีที่ 8 จำนวน 20 คนจากโรงเรียนใดโรงเรียนหนึ่งจากสองแห่งที่กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่มาในภายหลัง วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานำร่อง คือการพัฒนาเครื่องมือวิจัยที่เชื่อถือได้และพิสูจน์ความถูกต้องของเครื่องมือเหล่านั้น นักเรียนในการศึกษานำร่องเข้าร่วมในโปรแกรม Blue-Planet จากนั้นจึงตอบแบบสัมภาษณ์เชิงลึกแบบเปิดที่ไม่มีโครงสร้างจำนวน 20 ข้อ ผลลัพธ์คือ เครื่องมือวิจัยแต่ละอย่างได้รับการปรับปรุงและต่อมาได้รับการประเมินผ่านขั้นตอนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญเพื่อกำหนดทักษะการคิดเชิงระบบเฉพาะที่อาจจะระบุได้

ต่อไปนี้เป็นคำอธิบายสั้นๆ ของเครื่องมือวิจัยที่ใช้และทักษะการคิดเชิงระบบเฉพาะที่ระบุไว้

Likert-type Questionnaires ข้อคำถามของแบบสอบถามได้รับการพัฒนาขึ้นโดยอิงตามหมวดหมู่ที่พบในการสัมภาษณ์ของการศึกษานำร่องและการทบทวนวรรณกรรม เพื่อแสดงแบบสอบถามสามชุดที่กล่าวถึงด้านล่าง จึงได้สร้างข้อคำถามเริ่มแรกจำนวน 30 ข้อขึ้นมา เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบเนื้อหา นักวิจัยอาวุโสด้านการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์โลก 3 คนได้รับรายชื่อ 30 หัวข้อ พวกเขาถูกขอให้ประเมินคุณภาพของแต่ละหัวข้อ กำหนดประเภทตามมาตราส่วน และแนะนำหัวข้อที่อาจต้องแก้ไข จากการสัมภาษณ์ที่ดำเนินการในการศึกษานำร่อง เราได้ปรับปรุงแบบสอบถามโดยลบข้อคำถามบางข้อและแก้ไขข้ออื่นๆ บางส่วน ตามขนาดตัวอย่าง ไม่มีการวัดทางสถิติสำหรับความน่าเชื่อถือและความถูกต้อง

แม้ว่า Likert-type questionnaires จะให้การประเมินทัศนคติโดยตรงและเชื่อถือได้เมื่อสร้างมาตราส่วนได้ดี แต่การประยุกต์ใช้แบบสอบถามนี้ยังคงมีคำถาม ข้อบกพร่องประการหนึ่งของแบบสอบถามนี้คือนักเรียนที่มีปัญหาในการอ่านอาจได้รับคะแนนต่ำ เนื่องจากพวกเขาไม่เข้าใจความหมายของข้อความ เพื่อลดผลกระทบของข้อจำกัดนี้ จึงได้ใช้มาตรการสองประเภท มาตรการแรก ผู้เขียนคนหนึ่งจะอ่านข้อความให้ผู้ที่ไม่แน่ใจเกี่ยวกับความหมายของข้อความนั้นๆ ฟังในแต่ละห้องเรียน และสนับสนุนให้นักเรียนบอกผู้เขียนเพื่อขอความช่วยเหลือ หากไม่แน่ใจ ประการที่สอง นักเรียนถูกขอให้เขียนคำอธิบายสำหรับแต่ละข้อความ แบบสอบถามเชิงอธิบายนี้รวมอยู่ในส่วนที่สองของ Likert-type questionnaires ทั้งสามชุดตามที่อธิบายไว้ในการศึกษานี้ ช่วยให้เรทดสอบได้ว่าคำตอบที่ผิดของนักเรียนนั้นมาจากการตีความความหมายของข้อความที่ไม่ถูกต้องหรือจากกรอบแนวคิดทางเลือกของพวกเขา Likert-type Questionnaires ต่อไปนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นสำหรับการศึกษานี้

แบบสอบถามเกี่ยวกับธรรมชาติพลวัตของน้ำใต้ดิน (GDN) แบบสอบถามนี้พัฒนาขึ้นเพื่อระบุความสามารถของนักเรียนในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ เพื่อให้เจาะจงมากขึ้นแบบสอบถามนี้จะวัดความรู้และความเข้าใจก่อนหน้านี้ของนักเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติพลวัตของระบบน้ำใต้ดินและความสัมพันธ์ทางสิ่งแวดล้อมกับมนุษย์ (ตารางที่ 1) ข้อความของแบบสอบถามนี้ปรากฏในตารางที่ 6

แบบสอบถามการคิดแบบวัฏจักร (CYCLIC THINKING QUESTIONNAIRE :CTQ) แบบสอบถามนี้พัฒนาขึ้นเพื่อระบุความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติแบบวัฏจักรของอุทกภาคและการอนุรักษ์สสารภายในระบบโลก (ตารางที่ 1) ข้อความของแบบสอบถามนี้ปรากฏในตารางที่ 8

แบบสอบถามเกี่ยวกับปริมาณน้ำทั่วโลก (GLOBAL MAGNITUDE QUESTIONNAIRE :GMQ) แบบสอบถามนี้พัฒนาขึ้นเพื่อระบุความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับปริมาณของแต่ละองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำ (ตารางที่ 1) ข้อความในแบบสอบถามนี้ปรากฏในตารางที่ 5

การวิเคราะห์การวาดภาพ (Drawing Analyses :DA) มีหลักฐานว่าภาพวาดของนักเรียนอาจเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการวัดระดับความเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Dove, Everett, & Preece, 1999) และเป็นเครื่องมือในการระบุช่องว่างระหว่างแนวคิดทางเลือกของนักเรียนกับมุมมองทางวิทยาศาสตร์ (Novick & Nussbaum, 1978) อย่างไรก็ตาม การใช้ภาพวาดเพื่อดึงข้อมูลความเข้าใจอาจมีข้อจำกัดเนื่องจากผลงานที่นักเรียนสร้างขึ้นนั้นถูกจำกัดด้วยความสามารถในการวาดภาพของพวกเขา ดังนั้น ภาพวาดจึงไม่สามารถแสดงถึงความรู้สึกหรือความกว้างของความเข้าใจในหัวข้อใดหัวข้อหนึ่งได้ ดังนั้น การรวมการเขียนหรือการสัมภาษณ์เข้าด้วยกันจะทำให้สามารถนำเสนอแนวคิดได้มากขึ้น (Dove et al., 1999; Hulland & Munby, 1994)

ในการศึกษาปัจจุบันนี้ นอกจากการตอบแบบสอบถามแล้ว นักเรียนยังได้รับการขอให้วาดวัฏจักรของน้ำ เพื่อลดอิทธิพลของข้อจำกัดที่กล่าวถึงข้างต้น นักเรียนได้รับคำสั่งให้หัวข้อต่างๆ ให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในภาพวาดของตน หัวข้อดังกล่าวนำมาจากรายการขั้นตอนหลักและกระบวนการของวัฏจักรน้ำ นักเรียนได้รับคำยืนยันว่าพวกเขาไม่ได้คาดหวังให้วาดภาพศิลปะ ดูเหมือนว่านักเรียนจะไม่แสดงการต่อต้านในการวาดภาพ

การวิเคราะห์ภาพวาดของนักเรียนทำให้เราสามารถสรุปองค์ประกอบต่อไปนี้ได้: ความสามารถในการระบุองค์ประกอบและกระบวนการของระบบ, การมีอยู่ของระบบโลก, ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์แบบพลวัตภายในระบบ, การมีอยู่ของแรงของมนุษย์, การปรากฏของความเข้าใจแบบวัฏจักรของวัฏจักรน้ำตามการเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบวัฏจักรน้ำ, ความสามารถในการจัดระเบียบองค์ประกอบและวางไว้ในกรอบความสัมพันธ์ (ตารางที่ 1)

Table 1

Adjustment of each research tool to characterize the various system thinking skills

System thinking skills	Research tools								
	GDN	CTQ	GMQ	D	WA	CM	HD	FI	RG
Identifying the system's components and processes			☑	☑	☑	☑			
Identifying relationships among components	☑					☑	☑		
Identifying dynamic relationships within the system	☑			☑	☑	☑			
Understanding the cyclic nature of systems		☑		☑		☑			
Organizing components within a framework of relationships				☑		☑			
Making generalizations								☑	☑
Understanding the hidden dimensions of a system								☑	☑
Thinking temporally: retrospection and prediction								☑	☑

GDN, Groundwater system dynamic nature Questionnaire; CTQ, Cyclic Thinking Questionnaire; GMQ, Global Magnitude Questionnaire; D, Drawing; WA, Word association; CM, Concept maps; HD, The hidden dimension inventory; FI, The factory inventory; RG, Repertory Grid.

การเชื่อมโยงคำ (Word Association) การศึกษาปัจจุบันเกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงคำศัพท์ในฐานะเป็นเครื่องมือวิจัยสำหรับประเมินความสามารถของนักเรียนในการระบุส่วนประกอบและกระบวนการของระบบ (ตารางที่ 1) นักเรียนถูกขอให้เขียนแนวคิดทั้งหมดที่พวกเขาคุ้นเคยเกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำ การเชื่อมโยงคำศัพท์เป็นการตรวจสอบการเชื่อมโยงที่บุคคลรับรู้จากชุดแนวคิดโดยตรง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ออกแบบมาเพื่อดึงเอาความสัมพันธ์ที่บุคคลสร้างขึ้นระหว่างแนวคิดต่างๆ ออกมา หากสามารถระบุความสัมพันธ์เหล่านั้นได้ ก็จะสามารถเข้าใจคุณภาพของความเข้าใจของบุคคลเกี่ยวกับองค์ประกอบต่างๆ ได้ (White & Gunstone, 1992) เพื่อจำกัดจุดอ่อนที่เป็นไปได้ของเทคนิคนี้ กล่าวคือ คำตอบอาจมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอน จึงมีการจัดให้มีสิ่งนี้เป็นอย่างแรกในห้องเรียนเสมอในขณะที่นักเรียนทำงานมอบหมาย นักเรียนได้รับการสนับสนุนให้ขอความช่วยเหลืออีกครั้ง ทุกครั้งที่นักเรียนอ้างว่า "ฉันไม่รู้อะไรเกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำเลย" คำตอบที่ได้คือ "ลองนึกภาพฝนที่ตกลงมาว่ามาจากไหน?" และ "เกิดอะไรขึ้นกับฝนหลังจากที่ตกลงมาในสนามโรงเรียนของคุณ?"

แผนที่แนวคิด (Concept Map) แผนที่แนวคิดเป็นเครื่องมือวิจัยที่มีประสิทธิภาพที่ช่วยในการตรวจสอบวิธีการที่ผู้เรียนปรับโครงสร้างความรู้ของตน โดยทำได้ด้วยการระบุความเข้าใจผิดและรับรู้สไตล์การเรียนรู้ที่แตกต่างกัน (Martin, Mintzes, & Clavijo, 2000; Mason, 1992; Novak & Gowin, 1984; Roth, 1994) นอกจากนี้ แผนที่แนวคิดจะมุ่งเน้นไปที่โครงสร้างและความเชื่อมโยงที่นักเรียนรับรู้ การทำแผนที่เป็นวิธีในการดึงเอาความสัมพันธ์ที่นักเรียนแต่ละคนรับรู้ระหว่างแนวคิดต่างๆ ออกมา (White & Gunstone, 1992) ในทำนองเดียวกัน Novak และ Gowin (1984) ให้เหตุผลว่าป้ายแนวคิดทำให้ความหมายและความแม่นยำ

ของความหมายของแนวคิดเพิ่มขึ้น ดังนั้น แผนที่แนวคิดจึงเป็นอุปกรณ์แผนภาพสำหรับแสดงชุดความหมายของแนวคิดที่ฝังอยู่ในกรอบของข้อเสนอ

นักเรียนต้องเข้าใจก่อนว่าต้องทำงานอย่างไรจึงจะใช้แผนที่แนวคิดในการประเมินการเรียนรู้ได้ (White & Gunstone, 1992) ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ นักเรียนจึงเริ่มต้นด้วยหัวข้อง่ายๆ ที่คุ้นเคย เช่น รายการโทรทัศน์ที่พวกเขาชื่นชอบ เพื่อให้พวกเขาสามารถจดจ่อกับงานได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ นักเรียนยังได้รับคำสั่งให้สร้างแผนที่แนวคิดแรกเป็นคู่ด้วย

ในการศึกษาครั้งนี้ นักเรียน 30 คนได้สร้างแผนที่แนวคิดในช่วงเริ่มต้นและช่วงท้ายของกระบวนการเรียนรู้ การสร้างแผนที่แนวคิดประกอบด้วย 3 ขั้นตอนต่อไปนี้:

ขั้นตอนที่ 1: ให้นักเรียนเลือกแนวคิด 15 แนวคิดจากรายการที่กำหนด และสร้างความเชื่อมโยงคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรของน้ำ

ขั้นตอนที่ 2: ให้นักเรียนเชื่อมโยงแนวคิดสองแนวคิดภายในประโยคเดียว นักเรียนสามารถใช้แนวคิดเดียวกันได้มากกว่าหนึ่งครั้ง (ดูตัวอย่างในรูปที่ 1)

ขั้นตอนที่ 3: ให้นักเรียนสร้างแผนที่แนวคิดเกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำ

โปรดทราบว่านักเรียนในงานวิจัยนี้ได้รับคำสั่งเฉพาะไม่ให้สร้างแผนที่แบบลำดับชั้น แผนที่แบบไม่เป็นลำดับชั้นมักจะเปิดเผยข้อมูลได้มากกว่าเนื่องจากรูปแบบต่างๆ มีความหลากหลายมากกว่า นอกจากนี้ การสร้างแผนที่ในบริบทของการทำความเข้าใจระบบต้องอาศัยการเชื่อมโยงระหว่างแนวคิดที่ซับซ้อน ซึ่งอาจถูกละเอียดได้หากใช้แผนที่แบบลำดับชั้น

Novak และ Gowin (1984) กล่าวว่าการเรียนรู้ที่มีความหมายนั้นดำเนินไปได้ง่ายที่สุดเมื่อแนวคิดใหม่หรือความหมายของแนวคิดถูกจัดกลุ่มภายใต้แนวคิดที่ครอบคลุมและกว้างขึ้น ดังนั้น แผนที่แนวคิดจึงควรเป็นลำดับชั้น กล่าวคือ แนวคิดทั่วไปและครอบคลุมมากขึ้นควรอยู่ที่ด้านบนของแผนที่ โดยแนวคิดที่เจาะจงมากขึ้นตามลำดับจะจัดวางไว้ด้านล่าง

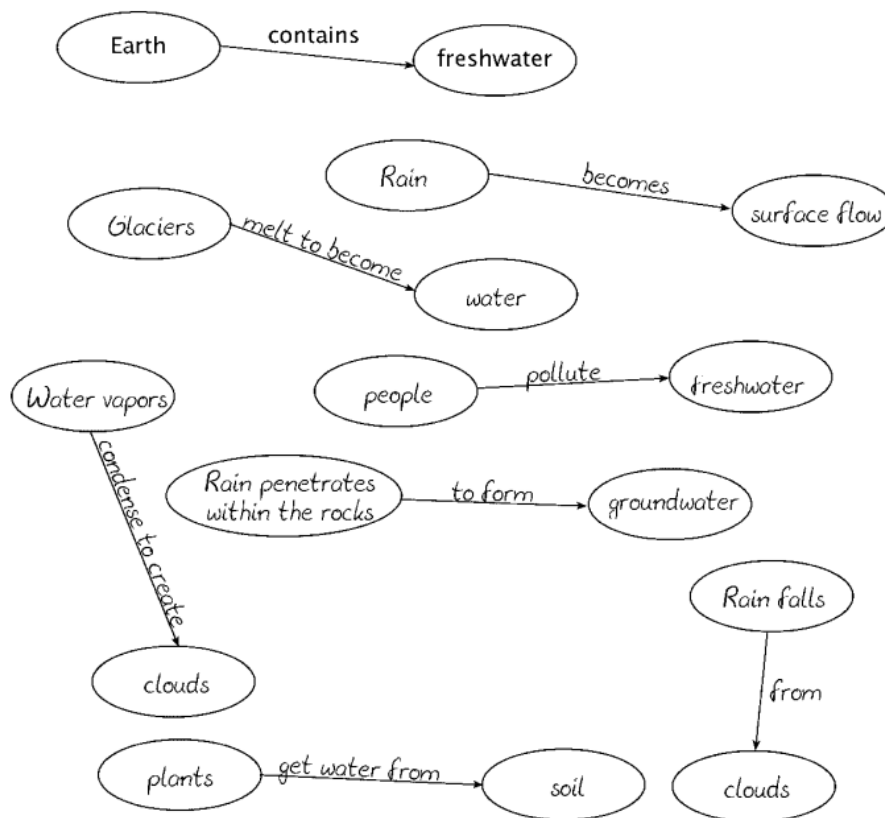


Figure 1. Tami's preparation stage of the concept map, in which she was asked to connect two concepts by a sentence.

อย่างไรก็ตาม ในประเภทรูปแบบแผนที่แนวคิดจะไม่แสดงแนวคิดและความเชื่อมโยงทั้งหมดที่นักเรียนมี (White & Gunstone, 1992) Ruiz-Primo และ Shavelson (1996) ให้เหตุผลว่าโครงสร้างเนื้อหาหมายถึงจุดตัดระหว่างความต้องการและข้อจำกัดของงานกับโครงสร้างของโดเมนของเรื่องที่จะถูกจัดเป็นแผนที่ ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องกำหนดโครงสร้างลำดับชั้นในเชิงวิธีการหรือแนวคิด White และ Gunstone (1992) ให้เหตุผลว่าเมื่อเทียบกับรูปแบบการประเมินเพื่อสรุปผลแบบดั้งเดิม นักเรียนมักไม่ค่อยรับรู้ถึงภัยคุกคามเชิงการแข่งขันในการทำแผนที่แนวคิด แม้ว่าจะปฏิเสธความต้องการทางปัญญาของงานไม่ได้ก็ตาม อาจเป็นไปได้ว่าสิ่งนี้มาจากข้อเท็จจริงที่ว่างานนั้นมีจุดประสงค์และเกี่ยวข้องกับการกระทำทางกายภาพ หรือเพราะไม่มีคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว ไม่มีแผนที่ใดที่พิสูจน์ได้ว่าดีกว่าแผนที่อื่น อย่างไรก็ตาม นักเรียนมักพบว่าการเขียนความสัมพันธ์ลงไปอย่างชัดเจนคือส่วนที่น่ารำคาญที่สุดของขั้นตอนนี้ และอยากจะข้ามส่วนนี้ไปหากเป็นไปได้ ในทำนองเดียวกัน ในการศึกษาครั้งนี้ นักเรียน 1 ใน 3 หยุดกระบวนการสร้างแผนที่แนวคิดในขั้นตอนที่ 3 และปฏิเสธที่จะสร้างแผนที่แนวคิดฉบับสมบูรณ์ นักเรียนบางคนสร้างแผนที่แนวคิดโดยไม่มีส่วนการเขียน

Roth (1994) เน้นย้ำถึงประโยชน์ของการจัดทำแผนที่แนวคิดร่วมกัน เขากล่าวว่านักเรียนที่จัดทำแผนที่แนวคิดร่วมกันจะแสดงให้เห็นถึงการเรียนรู้ที่มีความหมายมากกว่านักเรียนที่ทำงานนี้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับมุมมองของคอนสตรัคติวิสต์ทางสังคมมาก อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ นักเรียนได้ทำงานเป็นรายบุคคลเพื่อระบุการเปลี่ยนแปลงแนวคิดส่วนบุคคล แต่มีโอกาสนี้สองครั้งในการสร้างแผนที่แนวคิดร่วมกัน ซึ่งรวมอยู่ในกระบวนการเรียนรู้ ตามที่ Ruiz-Primo และ Shavelson (1996) ได้แนะนำว่าการตัดสินใจเกี่ยวกับ

ความรู้และทักษะของแต่ละบุคคลต้องอาศัยการบูรณาการข้อมูลหลายชั้น การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่แนวคิดในการศึกษาปัจจุบันต้องอาศัยการตัดสินของผู้เชี่ยวชาญและการสัมภาษณ์ (ซึ่งจะอธิบายในภายหลัง)

การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดของนักเรียนช่วยให้เราสามารถค้นหาส่วนประกอบของการคิดเชิงระบบดังต่อไปนี้: ความสามารถในการระบุส่วนประกอบและกระบวนการของระบบ (จำนวนแนวคิด), การปรากฏของระบบโลก, ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์แบบพลวัตภายในระบบ (จำนวนการเชื่อมโยง), การปรากฏของลักษณะมนุษย์, การปรากฏของความเข้าใจแบบวัฏจักรของวัฏจักรน้ำที่สร้างขึ้นในแผนที่แนวคิด ความสามารถในการจัดระเบียบส่วนประกอบและวางไว้ในกรอบความสัมพันธ์ซึ่งสะท้อนการรับรู้ระบบแบบองค์รวมมากขึ้นโดยใช้แผนที่แนวคิด (ตารางที่ 1)

การสัมภาษณ์ การศึกษานี้ใช้รูปแบบการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างซึ่งใช้เป็นวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักศึกษาในกระบวนการเรียนรู้ การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างจะเสนอหัวข้อและคำถามให้กับผู้ให้สัมภาษณ์ แต่ได้รับการออกแบบมาอย่างรอบคอบเพื่อดึงเอาความคิดและความเห็นของผู้ให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับหัวข้อที่สนใจ แทนที่จะนำผู้ให้สัมภาษณ์ไปสู่ทางเลือกที่คิดไว้ล่วงหน้า การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างนี้อาศัยการที่ผู้สัมภาษณ์ติดตามผลด้วยการสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับหัวข้อที่ไม่สนใจ (White & Gunstone, 1992)

เพื่อสำรวจความสามารถของนักเรียนในวงกว้าง เภนทีในการคัดเลือกผู้ให้สัมภาษณ์สำหรับการศึกษานี้คือผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ เมื่อรวมกับครูวิทยาศาสตร์ของชั้นเรียนนี้แล้ว พบว่าสามารถแบ่งนักเรียนออกเป็น 4 ระดับความสำเร็จที่ชัดเจน ได้แก่ สูง ดี ปานกลาง และต่ำ ครูแบ่งนักเรียนออกเป็น 4 กลุ่ม จากนั้นจึงสุ่มเลือกนักเรียน 2 คนจากแต่ละประเภทเพื่อสัมภาษณ์ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการสัมภาษณ์ พบว่านักเรียนประมาณครึ่งหนึ่งจากทั้งหมด 8 คนมีปัญหาหรือขาดแรงจูงใจในการแสดงออก จึงถูกแทนที่ด้วยนักเรียนที่พูดจาชัดเจนมากขึ้น การสัมภาษณ์ดำเนินการในช่วงเริ่มต้น ช่วงกลาง และช่วงท้ายกระบวนการเรียนรู้ เนื่องจากนักเรียนที่มีผลการเรียนต่ำ 2 คน (ตามความคิดเห็นของครู) ไม่ได้เข้าร่วมชั้นเรียนมากกว่า 30% พวกเขาจึงได้รับการสัมภาษณ์ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเท่านั้น

การสัมภาษณ์มีวัตถุประสงค์หลักสองประการ ได้แก่ (ก) เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบคำตอบของนักเรียนจากแบบสอบถาม แผนที่แนวคิด และภาพวาด และ (ข) เพื่อรับข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียน

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแบบสอบถาม นักเรียนจะถูกขอให้อ่านคำตอบและบอกว่าพวกเขายังเห็นด้วยกับคำตอบเดิมของพวกเขาต่อข้อความในแบบสอบถามหรือไม่ จากนั้นจึงอธิบายคำตอบของพวกเขาเพิ่มเติม พวกเขาจะถูกขอให้อธิบายภาพวาดของพวกเขาเพิ่มเติมด้วย การสัมภาษณ์ยังช่วยระบุด้วยว่าการที่ส่วนประกอบของระบบขาดหายไปในการวาดนั้น เป็นผลมาจากความสามารถในการวาดภาพของนักเรียนหรือจากการที่นักเรียนไม่คุ้นเคยกับส่วนประกอบเหล่านั้น

นอกจากนี้ นักเรียนยังถูกขอให้เลือกแนวคิดสามแนวคิดและคิดถึงเชื่อมโยงใหม่ๆ ระหว่างแนวคิดเหล่านั้น และทำเครื่องหมายด้วยสีที่แตกต่างกัน กระบวนการนี้ดำเนินการสองครั้งโดยใช้สีที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะเจาะลึกลงไปในความสัมพันธ์ที่นักเรียนมองเห็นระหว่างคำศัพท์สำคัญสองหรือสามคำ ในการสัมภาษณ์ คำศัพท์จะถูกจำกัดให้เฉพาะคำศัพท์หลักเหล่านั้น และนักเรียนถูกขอให้สร้างความเชื่อมโยงหลายๆอย่างระหว่างคำศัพท์เหล่านั้น

เครื่องมือวิจัยเชิงคุณภาพเพิ่มเติมอีก 2 อย่างที่เกี่ยวข้องกับการสัมภาษณ์ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยเฉพาะสำหรับการวิจัยนี้ ในระหว่างการสัมภาษณ์ นักเรียนแต่ละคนต้องทำงานมอบหมายและอธิบายคำตอบของตนอย่างละเอียด ต่อไปนี้เป็นคำอธิบายสั้นๆ เกี่ยวกับเครื่องมือวิจัยใหม่เหล่านี้

THE FACTORY INVENTORY เพื่อให้นักเรียนสามารถสรุปผลการปฏิบัติงานเกี่ยวกับหัวข้อด้านสิ่งแวดล้อม เช่น คุณภาพน้ำและทรัพยากรน้ำที่ขาดแคลน นักเรียนจะต้องนำเสนอแนวคิดตามกาลเวลาและเชิงย้อนหลัง ตลอดจนความสามารถในการคาดการณ์ (ตารางที่ 1)

เพื่อระบุความสามารถข้างต้น เราใช้คำถามเกี่ยวกับการสัมภาษณ์งานมอบหมายใน “โรงงาน” ในการสัมภาษณ์ นักเรียนได้รับแจ้งเกี่ยวกับโรงงานผลิตสารเคมีที่ควรสร้างขึ้นในเมืองของพวกเขา นักเรียนได้รับรายชื่อผู้เชี่ยวชาญในสาขาธรณีวิทยา เศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม อุทกวิทยา และเคมี นักเรียนต้องถามคำถาม “ผู้เชี่ยวชาญ” แต่ละคนสามคำถามเพื่อตัดสินใจว่าจะแนะนำให้สร้างโรงงานหรือไม่ ในระหว่างการสัมภาษณ์ นักเรียนได้อธิบายคำถามของตนอย่างละเอียดและอธิบายแต่ละคำถามว่าเหตุใดคำถามจึงมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับงานที่ได้รับมอบหมาย โปรดทราบว่าในตอนแรก นักเรียนทุกคนทำงานมอบหมายนี้ในรูปแบบของแบบสอบถาม แต่กระบวนการตรวจสอบงานมอบหมายนี้ระบุว่า คำถามของนักเรียนไม่ได้เปิดเผยความสามารถของนักเรียนอย่างเพียงพอ ในขณะที่ในการสัมภาษณ์ นักเรียนสามารถแสดงออกได้ดีกว่าด้วยวาจาในขณะที่อธิบายคำถามของตนเพิ่มเติม ดังนั้น ในส่วนผลการศึกษา เราจะนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลการสัมภาษณ์

HIDDEN DIMENSION INVENTORY เครื่องมือวิจัยนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสำรวจการรับรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบอุทกภาค (เช่น กระบวนการที่เกิดขึ้นใต้พื้นผิว) (ตารางที่ 1) ในระหว่างการมอบหมายงานนี้ นักเรียน 25 คนได้รับรูปภาพที่อธิบายระบบนิเวศ (รูปที่ 2) นักเรียนถูกถามคำถาม 4 ข้อ ได้แก่ (ก) ส่วนประกอบใดที่คุณเห็นในภาพนี้? (ข) หากคุณเป็นผู้วาดภาพนี้และคุณต้องการให้ภาพนี้เสร็จสมบูรณ์ คุณต้องการเพิ่มส่วนประกอบใด? (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ในภาพคืออะไร? และ (ง) โปรดตั้งชื่อภาพนี้



Figure 2. The picture of an ecology system that was used in the ecology system assignment.

ตารางกรองการรับรู้ (Repertory Grid) เครื่องมือ Repertory Grid ถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้มุมมองเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสามารถในการระบุความสัมพันธ์แบบพลวัตภายในระบบ ความสามารถในการสรุปความเป็นหลักการทั่วไป การทำความเข้าใจมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบ การคิดแบบตามเวลา (ตารางที่ 1) เทคนิคนี้ดำเนินการตาม Fetherstonhaugh และ Bezzi (1992) มันเป็นการผสมผสานกระบวนการสร้างโครงสร้างส่วนบุคคล 2 กระบวนการ กระบวนการแรกคือโครงสร้างจะถูกดึงออกมาจากนักเรียนโดยการเปรียบเทียบกลุ่มที่มี 3 องค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ มหาสมุทร แม่น้ำ และแหล่งน้ำใต้ดิน อาจสร้างโครงสร้างที่เรียกว่า “ความเค็มสูง” ซึ่งเป็นลักษณะขององค์ประกอบมหาสมุทรเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆ อีก 2 องค์ประกอบ ได้แก่ แม่น้ำและแหล่งน้ำใต้ดิน กระบวนการที่สองนักเรียนได้รับคำขอให้ใช้โครงสร้างดังกล่าวเพื่อให้คะแนนองค์ประกอบทั้งหมดในตารางโดยใช้มาตราส่วน 1-5

การสังเกต ในการศึกษา การสังเกตถูกใช้เป็นเครื่องมือในการระบุนักเรียน สื่อการเรียนรู้ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างครู นอกจากนี้ เรายังใช้การสังเกตที่เน้นเป้าหมายเพื่อประเมินการมีส่วนร่วมของนักเรียนใน

กิจกรรมและกลยุทธ์การสอนของครู ในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ ผู้เขียนคนหนึ่งจะอยู่ในห้องเรียนแต่ละห้อง ในฐานะผู้สังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วม ในระหว่างการสังเกตการณ์ นักวิจัยจะจดบันทึกเหตุการณ์สั้นๆ และทันทีหลังจากการสังเกตการณ์ นักวิจัยจะสรุปบันทึกนั้นโดยให้คำอธิบายโดยละเอียดมากขึ้น ในบางกรณี ในระหว่างการสัมภาษณ์ นักเรียนจะถูกขอให้ตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่นักวิจัยสังเกตไว้ก่อนหน้านี้

ตารางที่ 1 แสดงเครื่องมือวิจัยแต่ละอย่างและทักษะการคิดเชิงระบบเฉพาะที่อาจระบุได้

การวิเคราะห์ข้อมูล

Likert-type Questionnaires เพื่อแยกแยะแหล่งที่มาของคำตอบที่ผิดข้างต้น Explanatory Questionnaires จะถูกวิเคราะห์และให้คะแนนตามสเกล 4 ระดับ (0-3) ในสเกลนี้ "0" หมายถึงไม่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์ ไม่เกี่ยวข้องกับข้อความ หรือ "ฉันไม่รู้คำตอบ", "1" หมายถึงถูกต้องโดยสัญชาตญาณ, "2" หมายถึงถูกต้องทางวิทยาศาสตร์บางส่วน และ "3" หมายถึงคำอธิบายที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์

เนื่องจากข้อความต่างๆ ในแบบสอบถามมีจำนวนที่แตกต่างกัน จึงได้กำหนดคะแนนมาตรฐานเป็น 100% เพื่อให้เปรียบเทียบได้ง่ายขึ้น และรายงานไว้ในเอกสารฉบับนี้ โดยได้กำหนดคะแนนเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และขนาดกลุ่มตัวอย่าง Likert-type questionnaire ได้กำหนดคะแนนเฉลี่ยสำหรับแต่ละข้อความ

การวิเคราะห์การวาดภาพ (DA) คำตอบของนักเรียนต่อกิจกรรมการวาดภาพได้รับการวิเคราะห์โดยใช้กรอบการเข้ารหัสที่จัดทำโดย Rennie และ Jarvis (1995) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความสอดคล้องของการวิเคราะห์การวาดภาพ ผู้เขียนทั้งสองคนของการศึกษาปัจจุบันได้วิเคราะห์และเข้ารหัสภาพวาดเดียวกันของนักเรียนทุกคนเป็นรายบุคคล หลังจากเปรียบเทียบและอภิปรายการวิเคราะห์ที่แยกจากกันสองแบบแล้ว พวกเขาจึงพัฒนาระบบการเข้ารหัสมาตรฐาน ภาพวาดได้รับการวิเคราะห์ตามเกณฑ์ต่อไปนี้: (ก) ลักษณะที่ปรากฏของระบบโลก (ข) ลักษณะที่ปรากฏของกระบวนการ (ค) ลักษณะที่ปรากฏของการบริโภคของมนุษย์หรือมลพิษ และ (ง) การรับรู้แบบวัฏจักรของวัฏจักรน้ำตามจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำ (โดยที่ "0" หมายถึง วัฏจักรของบรรยากาศ, "1" หมายถึงการเชื่อมต่อผ่านฝนบนบก, "2" หมายถึงการเชื่อมต่อผ่านแม่น้ำจากบกสู่ทะเล และ "3" หมายถึงการเชื่อมต่อผ่านการไหลของน้ำใต้ดินหรือการคายน้ำของพืช)

การเชื่อมโยงคำศัพท์ แนวคิดที่นักเรียนเขียนขึ้นจัดประเภทตามความสัมพันธ์กับแนวคิดแบบครบวงจร เช่น กระบวนการในวัฏจักรน้ำ ที่ตั้ง ธรณีภาค อุทกภาค ชีวมณฑลและบรรยากาศ การใช้น้ำของมนุษย์ และด้านสิ่งแวดล้อมและด้านเคมี

แผนที่แนวคิด เนื่องจากแผนที่แนวคิดแสดงโครงสร้างความรู้แต่ละส่วนในรูปแบบกราฟิก การวัดปริมาณแผนที่จึงยังคงเป็นประเด็นที่ถกเถียงกัน Novak and Gowin (1984) แนะนำให้ให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์จำนวนหนึ่ง ได้แก่ จำนวนและนัยสำคัญของความเชื่อมโยงระหว่างแนวคิด, ขอบเขตที่แผนที่แสดงลำดับขั้นที่เหมาะสมระหว่างแนวคิด, การมีอยู่ของความเชื่อมโยงระหว่างส่วนต่างๆ ของลำดับขั้นของแนวคิด และการให้ตัวอย่างที่เหมาะสม แม้ว่า White และ Gunstone (1992) จะแนะนำไม่ให้ให้คะแนนแผนที่แนวคิด แต่พวกเขาได้พยายามให้แผนที่ที่ดีเป็นแผนที่ที่แสดงรายละเอียดในจำนวนที่มากพอสมควร มีความสัมพันธ์หลายประเภท และมีแบบแผนความสัมพันธ์ข้ามกันที่หลากหลาย

ในการศึกษาครั้งนี้ เราไม่ได้ให้คะแนนแผนที่แนวคิดทั่วไป เพื่อให้แผนที่ที่มีค่าเชิงปริมาณ เราจึงประเมินแผนที่ตามจำนวนแนวคิด ความเชื่อมโยง และการจัดระเบียบภายในแผนที่ (ตารางที่ 4)

เพื่อประเมินความสามารถของนักเรียนในการนำเสนอความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการแบบพลวัตภายในระบบ เราได้ระบุค่าแบบพลวัตของแผนผังแนวคิด ค่าพลวัตนี้ถูกกำหนดใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ (ก) การนับ

"แนวคิดแบบพลวัต" (จำนวนแนวคิดที่เชื่อมโยงกันด้วยโหนดที่อธิบายกระบวนการ) (ข) นับ "แนวคิดการจำแนกประเภท" (จำนวนแนวคิดที่เชื่อมโยงกันในลักษณะการจำแนกประเภท) และ (ค) หารจำนวน "แนวคิดพลวัต" โดยเฉลี่ยด้วยจำนวนแนวคิดทั้งหมด (ทั้ง "แบบพลวัต" และ "การจำแนกประเภท") ของกลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นค่าจะเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 1

ค่าการคิดแบบวัฏจักรถูกกำหนดโดยการนับวัฏจักรที่สร้างขึ้นในแผนที่แนวคิด และโดยการหารจำนวนผลลัพธ์ที่ได้ด้วยห้า ซึ่งจะทำให้มีระดับวัฏจักร 5 ระดับที่นำเสนอในแผนที่แนวคิด ดังนั้นค่าจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ 0 ถึง 1 ระดับ 5 ระดับคือ (ก) ไม่มีวัฏจักรปรากฏในแผนที่แนวคิด (ข) วัฏจักรบรรยากาศของการระเหยและการเชื่อมต่อผ่านฝนบนมหาสมุทร (ค) การเชื่อมต่อผ่านฝนบนพื้นดิน (ง) การเชื่อมต่อผ่านแม่น้ำจากพื้นดินสู่ทะเล และ (จ) การแทรกซึมและการเชื่อมต่อผ่านน้ำใต้ดิน การดิ่งหรือการคายน้ำจากพืช

การสัมภาษณ์ การสัมภาษณ์แต่ละครั้งได้รับการถอดความและวิเคราะห์เชิงคุณภาพ วิธีการวิเคราะห์ที่นำมาใช้มีพื้นฐานมาจากแนวทางการวิจัยเชิงคุณภาพที่แตกต่างกัน (Fontana & Frey, 1998; Creswell 1998; Miles & Huberman, 1994) และมีขั้นตอนและระเบียบดังต่อไปนี้:

1. *การวิเคราะห์การสัมภาษณ์แต่ละครั้งเบื้องต้น*: ในขั้นตอนนี้ จะมีการอ่านการสัมภาษณ์ทั้งหมด จากนั้นจึงแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ สำหรับการแสดงออกที่ถือเป็นคำตอบสำหรับคำถามเฉพาะที่ผู้สัมภาษณ์ถาม (หรือไม่ได้ถาม) "คำตอบ" เหล่านี้ต่อแนวคิดต่างๆ ถือเป็นหมวดหมู่เนื้อหา
2. *การจัดทำแผนที่หมวดหมู่*: ในขั้นตอนนี้ การจัดระเบียบหมวดหมู่เนื้อหาที่กำหนดไว้ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ และการเชื่อมโยงหมวดหมู่ต่างๆ กับแนวคิดใหม่ ความถูกต้องของหมวดหมู่จะขึ้นอยู่กับขั้นตอนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญจากการสัมภาษณ์ห้าครั้งแรก การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของหมวดหมู่เผยให้เห็นว่ามีความน่าพอใจ
3. *การค้นหาค้นหา*: ขั้นตอนการวิเคราะห์นี้เกี่ยวข้องกับการจัดระเบียบหมวดหมู่การสัมภาษณ์ใหม่ เพื่อให้นักวิจัยสามารถมุ่งเน้นไปที่สิ่งที่น่าสนใจที่สุดได้ กรอบงานทั่วไปได้รับการจัดเตรียมขึ้นเพื่อมุ่งเน้นไปที่การสัมภาษณ์โดยอิงตามคำถามการวิจัย คำตอบหรือคำอธิบายใดๆ ที่นักเรียนเสนอมาจะถูกเข้ารหัสและเชื่อมโยงกับหมวดหมู่ ดังนั้นหน่วยการวิเคราะห์จึงเป็นคำอธิบายนั่นเอง ไม่ใช่ตัวนักเรียนแต่ละคน
4. *การวิเคราะห์เนื้อหา*: ในขั้นตอนนี้ วัตถุประสงค์คือการค้นหาแบบแผนระหว่างแนวคิดต่างๆ ที่แสดงโดยผู้ให้สัมภาษณ์ และเพื่อสร้างความคล้ายคลึงและความแตกต่างให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ตารางกรองการรับรู้ เพื่อประเมินความสามารถในการคิดเชิงระบบของนักเรียน การวิเคราะห์ข้อมูลของตารางกรองการรับรู้ประกอบด้วย 2 กระบวนการ กระบวนการแรก เราวิเคราะห์องค์ประกอบที่นักเรียนดึงออกมาในเชิงคุณภาพ องค์ประกอบเหล่านี้ได้รับการจำแนกประเภทตามความสัมพันธ์กับแนวคิดแบบครบวงจร เช่น กระบวนการในวัฏจักรของน้ำ ที่ตั้ง ธรณีภาค อุทกภาค ชีวมณฑลและบรรยากาศ การใช้น้ำของมนุษย์ และด้านสิ่งแวดล้อมและเคมี จากนั้น เราได้ดำเนินการวิเคราะห์โครงสร้างเชิงคุณภาพที่นักเรียนใช้เพื่อให้คะแนนทุกองค์ประกอบในตารางในสเกล 1-5 เพื่อประเมินความสามารถของนักเรียนในการนำเสนอความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการพลวัตภายในระบบ เราได้ระบุโครงสร้างตามลักษณะพลวัต (การเปลี่ยนรูปของสสารระหว่างระบบโลก)

การสังเกต การสังเกตแต่ละครั้งได้รับการถอดความและวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพ เช่นเดียวกับการสัมภาษณ์ เราใช้แนวทางการวิเคราะห์ตามการสัมภาษณ์ (Fontana & Frey, 1998; Creswell 1998; Miles

& Huberman, 1994) เพื่อประเมินการมีส่วนร่วมของนักเรียนในกิจกรรมและกลยุทธ์การสอนของครู
หมวดหมู่การสังเกตประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้:

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับครู: ด้านนี้ได้รับการประเมินตามประเภทและจำนวนคำถาม
ของนักเรียนในระหว่างการเรียนรู้และประเภทคำตอบของครูต่อคำถามเหล่านี้

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ (กลางแจ้ง, ห้องปฏิบัติการ):
ส่วนประกอบนี้ได้รับการประเมินเชิงปริมาณโดยจำนวนนักเรียนที่เข้าร่วมในกิจกรรมการทำงานระหว่าง
บทเรียนปฏิบัติการและการศึกษาดูงาน และคุณภาพของการมีส่วนร่วมของพวกเขา

วิธีเพิ่มเติมในการประเมินคุณภาพของการมีส่วนร่วมของนักเรียนในกระบวนการเรียนรู้ คือการ
วิเคราะห์สมุดงานของพวกเขา ผู้เขียนคนแรกจะรวบรวมสมุดงานทั้งหมดของนักเรียนทุกเดือน และวิเคราะห์
จำนวนกิจกรรมที่นักเรียนแต่ละคนทำและระดับความเข้าใจที่แสดงออกมาผ่านคำตอบของนักเรียนในงาน
มอบหมาย

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

เพื่อความชัดเจน เราได้จัดระเบียบข้อมูลจำนวนมากที่รวบรวมได้จากการศึกษานี้ตามคำถามวิจัย 3
ข้อต่อไปนี้

คำถามที่ 1: นักเรียนระดับมัธยมสามารถจัดการกับระบบที่ซับซ้อนได้หรือไม่?

เพื่อตอบคำถามการวิจัยข้อแรกนี้ ข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องมือวิจัยต่างๆ จะถูกนำเสนอภายใต้หมวดหมู่
ต่อไปนี้:

ความสามารถในการระบุส่วนประกอบและกระบวนการของระบบ การวิเคราะห์ภาพวาดของนักเรียน
ในช่วงเริ่มต้นกระบวนการเรียนรู้ระบุว่านักเรียนส่วนใหญ่มีภาพพจน์ที่ไม่สมบูรณ์และมีแนวคิดผิดมากมาย
นักเรียนส่วนใหญ่เบื้องต้นนำเสนอเฉพาะส่วนประกอบของวัฏจักรของน้ำในบรรยากาศ (นั่นคือ การระเหย
การควบแน่น และปริมาณน้ำฝน) และละเลยส่วนประกอบของน้ำใต้ดินในวัฏจักรของน้ำ มีความคุ้นเคยกับ
ส่วนประกอบของวัฏจักรน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างเช่น นักเรียน 90% ได้รวมการซึมผ่านของฝนใน
ดินและหินมาใช้ในการวาดภาพ posttest (ตารางที่ 2A, ข้อ 4) และมีเปอร์เซ็นต์นักเรียนที่นำหินมาใช้ในการ
วาดภาพ posttest เพิ่มขึ้นเป็น 44% จาก 15% ในการวาดภาพ pre-test (ตารางที่ 2B, ข้อ 9) อย่างไรก็ตาม
มีนักเรียนไม่ถึงหนึ่งในสามที่รวมการวาดภาพในกระบวนการและส่วนประกอบต่างๆ ที่เรียนรู้ในห้องปฏิบัติการ
เท่านั้น และไม่ได้รวมอยู่ในกิจกรรมที่เป็นรูปธรรมในการเรียนรู้กลางแจ้ง เช่น การคายน้ำ ความสามารถในการ
ซึมผ่านของของเหลวในพืช และมลพิษ มารวมไว้ใน การวาดภาพใน posttest (ข้อ 10-12 ของตาราง 2A) ใน
ทำนองเดียวกัน นักเรียนส่วนใหญ่ไม่ได้รวมส่วนประกอบของชีวมณฑล เช่น พืช มนุษย์ และสัตว์ ไว้ในภาพวาด
ของตน (ข้อ 1-3 ของตาราง 2B)

การวิเคราะห์การเชื่อมโยงคำศัพท์ของกลุ่มตัวอย่างนี้เผยให้เห็นผลลัพธ์ที่คล้ายกัน สรุปแนวคิดทั้งหมด
ที่กล่าวถึงในการเชื่อมโยงคำศัพท์ระหว่างกระบวนการเรียนรู้สามารถถูกรวบรวมเป็น 9 หมวดหมู่หลัก ได้แก่
บรรยากาศ อุทกภาค ธรณีภาค ชีวมณฑล โลก การเชื่อมโยงกับสิ่งแวดล้อม กิจกรรมของมนุษย์ การ
เปลี่ยนแปลงสถานะ และกระบวนการ ตารางที่ 3 แสดงจำนวนแนวคิดที่ได้รับการกล่าวถึงและเปอร์เซ็นต์ของ
นักเรียนที่กล่าวถึงแนวคิดเหล่านี้ในแต่ละหมวดหมู่ ในการทดสอบ pre-test นักเรียนส่วนใหญ่เขียนแนวคิดที่
เกิดขึ้นในบรรยากาศ ได้แก่ ฝน เมฆ และการระเหย (ข้อ 1 ของตาราง 3) ในขณะที่ในการทดสอบ posttest

นักเรียนส่วนใหญ่กล่าวถึงแนวคิดที่สะท้อนปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และน้ำ เช่น แ่งมุมสิ่งแวดล้อมหรือกิจกรรมของมนุษย์

ข้อมูลในตารางที่ 3 เผยให้เห็นว่านักเรียนได้ขยายมุมมองของตนเพื่อรวมระบบโลกเพิ่มเติม เช่น ธรณีภาค ชีวมณฑล และโลก (ข้อ 3-5)

การพัฒนาในความคุ้นเคยของนักเรียนกับองค์ประกอบและกระบวนการของวัฏจักรน้ำนั้นชัดเจนและเปิดเผยในแผนที่แนวคิด ข้อมูลในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแผนที่ใน posttest มีเนื้อหาเข้มข้นขึ้นและรวมแนวคิดมากขึ้น ซึ่งสะท้อนถึงความหลากหลายของตำแหน่งภายในระบบโลก (ข้อ 1-6) นอกจากนี้ การวิเคราะห์ผลการทดสอบ posttest และแผนที่แนวคิดยังเผยให้เห็นว่านักเรียนมีจำนวนและความหลากหลายของกระบวนการเพิ่มมากขึ้น (ข้อ 8 และ 9) ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกันได้รับการเชื่อมโยงคำศัพท์ (ข้อ 9 ของตารางที่ 3) นอกจากนี้ นักเรียนยังได้อธิบายลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ผ่านประโยคที่พวกเขาใช้กับแผนที่แนวคิด เช่น ประโยคที่บรรยายลักษณะการมีอยู่ของน้ำในธรณีภาค เช่น “กระแสน้ำเป็นตัวอย่างของน้ำไหลบ่า หินทรายมีโครงสร้างเป็นเม็ด หินปูนมีรอยแตกกว้าง มีน้ำพุเกิดขึ้นระหว่างหินปูนและหินปูนขาว” ปรากฏเฉพาะในแผนที่แนวคิด posttest เท่านั้น

การทำความเข้าใจลักษณะของวัฏจักรน้ำรวมถึงความรู้เกี่ยวกับการกระจายตัวของน้ำบนโลก การวิเคราะห์ Global Magnitude Questionnaire (GMQ) ที่นำเสนอในตารางที่ 5 เผยให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของนักเรียนที่คิดว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในหินบนโลกสูงกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในทะเลสาบและแม่น้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ นักเรียนประมาณ 20% ให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับทางเลือกของตน เมื่อเทียบกับ 8% ในตอนเริ่มต้นกระบวนการเรียนรู้ (ข้อ 1) อย่างไรก็ตาม แนวคิดของนักเรียนเผยให้เห็นมุมมองของพวกเขาเกี่ยวกับแหล่งน้ำแต่ละแห่งบนโลก และมุมมองของพวกเขาเกี่ยวกับบทบาทของมนุษย์บนโลกด้วย นักเรียนส่วนใหญ่ในการทดสอบ pre-test (GMQ) พุดเกินจริงเกี่ยวกับส่วนของมนุษย์ในวัฏจักรของน้ำ

Table 2

Students' perceptions of the water cycle as shown in their pre- and post-drawing (McNemar's test)

	Pre (%)	Post (%)	M-value	p-value
A: Process within the water cycle				
1. Evaporation	96.1	98.1	0.3	NS
2. Condensation	71.1	78.8	1.1	NS
3. Precipitation	100.0	98.1	1.1	NS
4. Penetration	65.3	90.3	8.8	0.003
5. Underground flow	11.5	61.6	24.1	0.001
6. Surface flow	38.4	63.4	8.0	0.005
7. Melting	0	23.1	—	0.01
8. Freezing	0	7.7	—	NS
9. Dissolution	0	19.2	—	0.01
10. Transpiration	0	26.9	—	0.001
11. Capillarity	0	23.1	—	0.001
12. Pollution	0	13.3	—	0.005
B: Components within the water cycle				
1. Plant	5.7	40.4	16.2	0.001
2. Human	3.8	13.4	5.0	0.02
3. Animal	5.7	5.7	0	NS
4. Ocean	94.2	82.6	4.5	0.03
5. River	36.5	50.0	1.9	NS
6. Glacier	0	9.6	5.0	0.025
7. Spring	7.7	19.2	3.0	0.0008
8. Soil	69.2	82.6	2.8	NS
9. Rock	15.4	44.2	10.7	0.001
10. Groundwater	40.4	65.3	6.7	NS
11. Clouds	98.1	98.1	0.5	NS
12. Rain	98.1	96.1	0.3	NS
13. Sun	30.8	25.0	0.6	NS
14. Water pollution	3.8	13.4	5.0	0.02
15. Water consumption	11.5	21.1	2.2	NS
16. Well	5.8	23.1	6.2	0.01
17. Sewage	7.7	9.6	0.1	NS

Table 3

Students' perceptions, as shown in the word association task (McNemar's test)

Groups of concepts	The number of concepts that were mentioned in regard to each category				Percentage of students who mentioned a representative item of each category			
	Pre	Post	M	p	Pre	Post	M	p
1. Atmosphere	3.5	2.3	3.7-	0.0005	98.1	94.2	1.0	NS
2. Hydrosphere	3.2	2.9	0.2-	NS	92.3	92.3	0	NS
3. Geosphere	0.5	2.1	6.8	0.0001	50.0	86.5	13.4	0.001
4. Biosphere	0.3	0.5	1.4	NS	19.2	34.6	3.2	NS
5. Earth	0.3	1.1	3.1	0.002	19.2	50.0	11.6	0.001
6. Environment quality	0.2	0.7	3.7	0.0005	11.5	42.3	12.8	0.001
7. Human activities	0.8	0.7	0.4-	NS	32.1	48.1	3.2	NS
8. Change of state	0.4	0.7	1.3	NS	21.1	36.5	3.2	NS
9. Processes	1.1	2.1	0.2	0.0001	69.2	92.3	10.3	0.002

แนวคิดตัวแทนของแต่ละประเภท:

1. บรรยากาศ (Atmosphere): ฝน ความชื้น ปริมาณน้ำฝน เมฆ หิมะ ลูกเห็บ การระเหยของน้ำ และท้องฟ้า
2. อุทกภาค (Hydrosphere): น้ำตก คลื่น แอ่งน้ำ น้ำใต้ดิน มหาสมุทร แม่น้ำ ลำธาร และภูเขา น้ำแข็ง
3. ธรณีภาค (Geosphere): หินปูน ภูเขา ดิน หิน รอยแตก และน้ำแร่
4. ชีวมณฑล (Biosphere): อาหาร ชีวิต ความกระหาย มนุษย์ สิ่งมีชีวิต พืช น้ำตา และธรรมชาติ
5. โลก (Earth): การเกิดขึ้นอีก โลก ฤดูหนาว ฤดูร้อน ลม ภูมิอากาศ และสภาพอากาศ
6. คุณภาพสิ่งแวดล้อม (Environment quality): การปนเปื้อน การทำให้น้ำสะอาด น้ำเสีย ฝนกรด และการ

ประหยัด

7. กิจกรรมของมนุษย์ (Human activities): การตักน้ำ การดื่ม น้ำ การปรุงอาหาร การเกษตร ฝักบัว กาดัม น้ำ และ

ก๊อกรน้ำ

8. การเปลี่ยนสถานะ (Change of state): ก๊าซ ของเหลว ของแข็ง อุณหภูมิ ความเย็น และความร้อน
9. กระบวนการ (Processes): การระเหย การควบแน่น การตกตะกอน การไหลของน้ำ การละลายน้ำแข็ง และน้ำ

ท่วม

Table 4

Students' perceptions of the water cycle as shown in their concept maps

Dimension within the concept maps	Pre		Post		Significant	
	Mean	Std	Mean	Std	<i>t</i>	<i>p</i>
1. Number of concepts	11.9	3.9	15.1	5.3	3.6	0.003
2. Number of linkages	14.4	4.9	17.8	7.8	2.3	0.03
3. Related to the hydrosphere	8.4	2.8	6.8	2.9	2.6-	0.01
4. Related to the atmosphere	1.6	1.3	1.3	1.2	0.9-	NS
5. Related to the geosphere	0.8	0.7	3.0	2.4	4.8	0.0001
6. Related to the biosphere	0.6	0.8	0.9	1.4	1.1	NS
7. Human activities	0.3	0.6	2.1	1.6	6.4	0.0002
8. Number of processes	3.5	2.7	6.1	2.8	3.1	0.005
9. Variety of processes	2.3	1.8	4.6	1.8	3.4	0.003
10. Concept related to more than two concepts	2.7	1.4	4.2	2.1	3.5	0.002
11. Number of key sentences	6.3	2.2	9.0	2.6	3.4	0.002
12. Dynamic value	0.3	0.3	0.5	0.2	2.6	0.001
13. Cyclic value	0.1	0.1	0.3	0.2	2.3	0.03

Table 5

Students' perceptions as shown in a Global Magnitude Questionnaire (GMQ)

Items	Pre			Post			<i>t</i>	<i>p</i>
	AG	UC	DIS	AG	UC	DIS		
1.	8.3	30.0	61.7	14.3	35.7	50.0	2.7	0.0001
2.	24.1	48.3	27.6	50.0	28.6	21.4	2.9	0.006
3.	25.0	53.3	21.7	50.0	41.5	8.9	2.8	0.008

Items	Pre				Post				<i>t</i>	<i>p</i>
	NS	IC	PC	SC	NS	IC	PC	SC		
1.	86.0	2.0	4.0	8.0	62.8	9.3	7.0	20.9	1.9	0.05
2.	79.6	8.2	10.2	2.0	79.6	45.9	13.5	5.4	3.4	0.02
3.	75.0	15.0	7.5	2.5	41.7	25.0	2.8	30.6	3.5	0.001

AG, เห็นด้วย; UC, ไม่แน่นอน; DIS, ไม่เห็นด้วย; NS, ไม่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์/ฉันไม่รู้/ไม่เกี่ยวข้อง; IC, ถูกต้องตามสัญชาตญาณ; PC, ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์บางส่วน; SC, คำอธิบายที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์

ข้อที่ 1: ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในหินในโลกมีมากกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในทะเลสาบและแม่น้ำต่างๆ มาก

ข้อที่ 2: ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มนุษย์สร้างขึ้นมีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำใต้ดินมาก

ข้อที่ 3: ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มนุษย์สร้างขึ้นมีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแม่น้ำและทะเลสาบต่างๆ มาก

ดังนั้น จากตารางที่ 5 พบว่ามีเพียง 25% เท่านั้นที่เห็นด้วยว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มนุษย์สร้างขึ้นน้อยกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแม่น้ำและทะเลสาบทั้งหมด หรือในน้ำใต้ดิน (ข้อ 2-3) การทดสอบ posttest เผยให้เห็นว่านักเรียน 50% มีมุมมองที่เป็นวิทยาศาสตร์มากกว่า ซึ่งยังเปิดเผยในคำอธิบายของพวกเขาด้วย (ข้อ 3) ในแบบสอบถามส่วนการอธิบาย ประมาณ 80% ได้แย้งว่า “มันไม่เป็นความจริง มนุษย์ผลิตน้ำเสียจำนวนมาก” หรือ “ผู้คนผลิตขยะจำนวนมาก” ในขณะที่นักเรียนประมาณ 40% ยังคงมีมุมมองนี้ในการทดสอบ posttest

ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ในวัฏจักรน้ำ ปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น คุณภาพของน้ำใต้ดินและการก่อตัวของน้ำแร่ ล้วนเกิดจากความสัมพันธ์ซึ่งกันระหว่างหินกับน้ำ อย่างไรก็ตาม จากที่แสดงในตารางที่ 6 การทดสอบ GDN pre-test เผยให้เห็นว่านักเรียนเพียง 30% เท่านั้นที่ยอมรับถึงความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบของสารละลายน้ำและหินที่เคลื่อนที่ผ่าน โดยกล่าวว่า “หินไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของน้ำที่เคลื่อนที่ทะลุผ่านหิน” (ข้อ 3) หลังจากศึกษาโปรแกรมดังกล่าวแล้ว นักเรียนประมาณ 70% ยอมรับถึงความเชื่อมโยงระหว่างหินกับน้ำ และประมาณ 44% เข้าใจมุมมองทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับกระบวนการละลายที่เป็นกลไกที่หินและน้ำมีปฏิสัมพันธ์กัน (ข้อ 3)

Ben-Zvi-Assaraf และ Orion (2004a) พบว่านักเรียนเข้าใจปฏิสัมพันธ์ระหว่างหินกับน้ำใต้ดินว่าเป็นกระบวนการทางกล และมีแนวโน้มที่จะลดอิทธิพลของธรณีภาคต่อองค์ประกอบอื่นๆ ของวัฏจักรน้ำ พวกเขารายงานว่าเนื่องจากนักเรียนมีแนวคิดเกี่ยวกับธรรมชาติที่คงที่ของธรรมชาติของระบบน้ำใต้ดิน นักเรียนส่วนใหญ่จึงไม่สามารถเชื่อมโยงกิจกรรมของมนุษย์กับคุณภาพน้ำได้ ในทำนองเดียวกัน ในการศึกษาครั้งนี้ นักเรียนเพียง 53% เท่านั้นที่ยอมรับถึงอิทธิพลของมนุษย์ที่มีต่อคุณภาพของน้ำที่สูบจากบ่อน้ำ (ข้อ 7 ของตารางที่ 6) ยิ่งไปกว่านั้น ในแบบสอบถามส่วนคำอธิบาย มีนักเรียนเพียง 2% เท่านั้นที่สามารถยกตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมได้ เช่น “น้ำปนเปื้อนจากสารเคมีที่ซึมลงในน้ำใต้ดิน” และ “การแทรกซึมของเกลือลงในบ่อน้ำทำให้แหล่งน้ำดื่มปนเปื้อน”

Table 6

Students' perceptions as shown in the Groundwater Dynamic Nature (GDN) questionnaire

Level of agreement %										
Items	Pre			Post			<i>t</i>	<i>p</i>		
	AG	UC	DIS	AG	UC	DIS				
1	18.6	42.4	39.0	58.9	17.9	23.2	4.9	0.001		
2	66.1	23.2	10.2	52.7	18.2	29.1	2.3	0.02		
3	23.7	45.8	30.5	14.5	14.5	70.9	4.3	0.001		
4	36.7	23.3	40.0	21.4	7.1	71.4	2.8	0.007		
5	27.6	48.3	24.1	14.3	30.4	55.4	3.4	0.001		
6	80.0	13.3	6.7	89.1	1.8	9.1	1.6	NS		
7	53.3	43.3	3.3	87.5	0.0	12.5	5.0	0.001		
8	15.0	31.7	53.3	3.6	10.7	85.7	3.3	0.002		
Level of explanations %										
Items	Pre				Post				<i>t</i>	<i>p</i>
	NS	IC	PC	SC	NS	IC	PC	SC		
1	67.4	15.2	10.9	6.5	17.6	29.4	14.7	38.2	4.1	0.004
2	80.4	8.7	10.9	0.0	51.2	12.2	7.3	29.3	2.8	0.009
3	31.6	23.7	36.8	7.9	16.0	10.0	30.0	44.0	3.9	0.0004
4	46.3	16.7	35.2	1.9	12.0	8.0	24.0	56.0	6.5	0.0001
5	73.9	23.9	2.2	0.0	32.6	13.0	19.6	34.8	5.4	0.0001
6	13.6	54.5	27.3	4.5	5.3	26.3	42.1	26.3	4.4	0.0002
7	39.6	39.6	18.7	2.1	4.5	13.6	34.1	47.7	6.2	0.001
8	23.0	7.8	27.5	41.2	0.0	0.0	13.0	87.0	4.6	0.001

AG, เห็นด้วย; UC, ไม่แน่นอน; DIS, ไม่เห็นด้วย; NS, ไม่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์/ฉันไม่รู้/ไม่เกี่ยวข้อง; IC, ถูกต้องตาม

สัญชาตญาณ; PC, ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์บางส่วน; SC, คำอธิบายที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์

ข้อ 1: น้ำใต้ดินส่วนใหญ่จะคงอยู่ในรูปพรุนเล็กๆ ของหิน คล้ายกับฟองน้ำที่รดน้ำเพียงพอ

ข้อ 2: น้ำใต้ดินจะคล้ายกับทะเลสาบใต้ดินที่ตั้งอยู่ในช่องว่างภายในดิน

ข้อ 3: หินไม่มีผลต่อองค์ประกอบของน้ำที่ซึมผ่านหิน

ข้อ 4: น้ำสามารถซึมผ่านหินได้ก็ต่อเมื่อหินแตกร้าวเท่านั้น

ข้อ 5: น้ำใต้ดินสามารถพบได้เฉพาะในพื้นที่ที่มีฝนตกชุกเท่านั้น

ข้อ 6: โรงงานหลายแห่งมีน้ำเสียไหลลงสู่ลำธาร ทำให้น้ำที่เราดื่มมีมลพิษ

ข้อ 7: บ่อน้ำบางส่วนในรัฐอิสราเอลมีน้ำที่ปนเปื้อน

ข้อ 8: น้ำฝนที่ตกลงบนพื้นผิวและซึมผ่านเข้าไปในดินสามารถลงไปได้ลึกหลายเมตร

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเรียนรู้ นักเรียนประมาณครึ่งหนึ่งได้อธิบายลักษณะของการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินตามที่กล่าวมาข้างต้นและตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตาม นักเรียนส่วนใหญ่ยังคงมีปัญหาในการอธิบายความสัมพันธ์บางประการระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ของระบบซึ่งเกิดขึ้นใต้ดิน ตัวอย่างเช่น ในขณะที่นักเรียนส่วนใหญ่เห็นด้วยว่าแม่น้ำที่มลพิษจากน้ำเสียอาจส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำ แต่นักเรียนไม่ถึงหนึ่งในสามที่เลือกที่จะอธิบายเรื่องนี้ผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การซึมผ่านและการไหลของน้ำใต้ดิน (ข้อ 6 ของตารางที่ 6)

การปรับปรุงความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของนักเรียนสามารถเห็นได้จากแผนที่แนวคิด การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดก่อนและหลังแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงที่สำคัญในจำนวนความสัมพันธ์ที่นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับระบบโลกโดยทั่วไปและวัฏจักรของน้ำโดยเฉพาะ ($t=3.13$, $p=.005$)

การวิเคราะห์ข้อมูลประโยชน์ภายในแผนที่แนวคิดเผยให้เห็นว่าประโยชน์จำนวนมากที่ปรากฏในแผนที่แนวคิด posttest เท่านั้นเน้นย้ำถึงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ภายในระบบ เช่น “น้ำเสียและยาฆ่าแมลงทำให้แหล่งน้ำในบ่อน้ำปนเปื้อน มนุษย์ดื่มน้ำที่ปนเปื้อนและได้รับบาดเจ็บ มนุษย์และโรงงานทำให้แหล่งน้ำใต้ดินปนเปื้อน”

มีการเสนอแนะว่าการปรากฏในวงกว้างของความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในกรณีภาค เช่น “น้ำซึมผ่านหินปูน น้ำไม่ซึมผ่านหินชอล์ก น้ำได้รับผลกระทบจากความเค็มของหิน” อาจมีต้นกำเนิดมาจากความสามารถที่นักเรียนเพิ่งได้รับมาใหม่ในการระบุกระบวนการและส่วนประกอบของกรณีภาค

ในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ นักเรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องและกลางแจ้ง ในสภาพแวดล้อมกลางแจ้งที่แท้จริง นักเรียนได้สำรวจน้ำพุ ถ้ำหินงอก และโรงบำบัดน้ำ ในขณะที่สำรวจ ส่วนประกอบของวัฏจักรน้ำเหล่านี้ นักเรียนได้สร้างโมเดลทางจิตของความสัมพันธ์ระหว่างระบบโลกตามธรรมชาติและมนุษย์ ต่อมาพวกเขาจึงเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในสถานที่ต่างๆ และตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน ซึ่งต่อมาก็ได้นำไปอภิปรายกับครูในชั้นเรียน เช่น “น้ำประปาที่ฉันดื่มกับน้ำแร่ที่ฉันซื้อแตกต่างกันอย่างไร?” หรือ “อะไรส่งผลต่อน้ำบาดาลที่ฉันดื่มในที่สุด?”

นักเรียนจำนวนมากได้กล่าวถึงการมีส่วนร่วมส่งเสริมประสบการณ์การเรียนรู้กลางแจ้งต่อกระบวนการเรียนรู้ ต่อไปนี้คือคำพูดที่ยกมาเป็นตัวอย่าง:

“การไปทัศนศึกษาที่ถ้ำหินงอก โรงบำบัดน้ำเสีย และน้ำพุที่ไหลออกมาจากชั้นหินต่างๆ มีส่วนช่วยฉันมาก...ฉันคิดว่าสิ่งเหล่านี้ช่วยให้ฉันเรียนรู้ได้ การเรียนรู้ในชั้นเรียนเป็นไปได้ อธิบายทุกอย่างได้ แต่การเห็นปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติมันไม่เหมือนกับที่เห็นด้วยตาเปล่า”

การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างจำนวนส่วนประกอบของระบบและลักษณะเฉพาะของส่วนประกอบเหล่านั้นกับจำนวนการเชื่อมต่อใหม่ระหว่างส่วนประกอบของวัฏจักรน้ำ (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเท่ากับ .782, $p = .0002$) พบจำนวนการเชื่อมต่อที่เพิ่มขึ้นเฉพาะในกลุ่มนักเรียนที่เพิ่มจำนวนส่วนประกอบด้วยเท่านั้น ไม่พบการปรับปรุงดังกล่าวในกลุ่มนักเรียนที่ไม่ได้ขยายความคุ้นเคยกับส่วนประกอบของระบบ

โดยสรุป ผลการศึกษาของเราบ่งชี้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของนักเรียนในการระบุส่วนประกอบของระบบอันเป็นผลมาจากกระบวนการเรียนรู้ และความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบเหล่านี้ โปรดทราบว่าแม้ว่านักเรียนส่วนใหญ่จะพัฒนาความสามารถในการสร้างการเชื่อมโยงใหม่ภายในระบบได้ แต่แทบทุกคนกลับสร้างแผนที่แนวคิดที่ไม่เหมือนกัน แม้ว่าส่วนประกอบของแผนที่จะคล้ายกันมาก แต่แต่ละคนก็เลือกที่จะนำเสนอแผนที่จากเรื่องราวที่แตกต่างกัน และด้วยเหตุนี้ จึงมีความเชื่อมโยงและความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น รูปที่ 3 และ 4 แสดงแผนผังแนวคิดก่อนและหลังของ Tami ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาความสามารถของเธอในการระบุความสัมพันธ์ แผนผังที่ Tami เลือกมาเพราะแผนผังของเธอแสดงถึงกลุ่มนักเรียนที่พัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ และคำอธิบายที่ชัดเจนของเธอในการสัมภาษณ์ ซึ่งทำให้เราสามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงแนวคิดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเรียนรู้ได้ แผนที่ของ Tami แสดงให้เห็นว่าเธอพัฒนาความสามารถของเธอในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และวัฏจักรของน้ำได้ดีขึ้น (รูปที่ 3 และ 4) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเรียนรู้ เธอชี้ให้เห็นว่า (ก) มนุษย์มีอิทธิพลต่อน้ำใต้ดินผ่านมลพิษจากปุ๋ยและยาฆ่าแมลง (ข) มนุษย์สามารถได้รับอิทธิพลจากน้ำใต้ดินในฐานะผู้บริโภค และ (ค) มนุษย์สามารถเปลี่ยนคุณภาพของน้ำได้โดยการฟอกน้ำ (ตาราง 7 ข้อ 15) อย่างไรก็ตาม นักเรียนบางคนได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำและหินในกรณีภาคในแผนที่ของตน เช่น (ก) น้ำซึมผ่านหินทราย (ข) น้ำไม่

ข้ามผ่านหินขอล็ก (ค) หินได้รับผลกระทบจากความเค็มของน้ำ และ (ง) น้ำละลายแร่ธาตุภายในหิน การเชื่อมโยงใหม่เหล่านี้ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่เสนอตามเรื่องราวของตนเอง แสดงให้เห็นว่าพวกเขาพัฒนาความสามารถในการสร้างการเชื่อมโยงใหม่ภายในระบบ แทนที่จะจำตัวอย่างที่ถูกสอนในชั้นเรียน

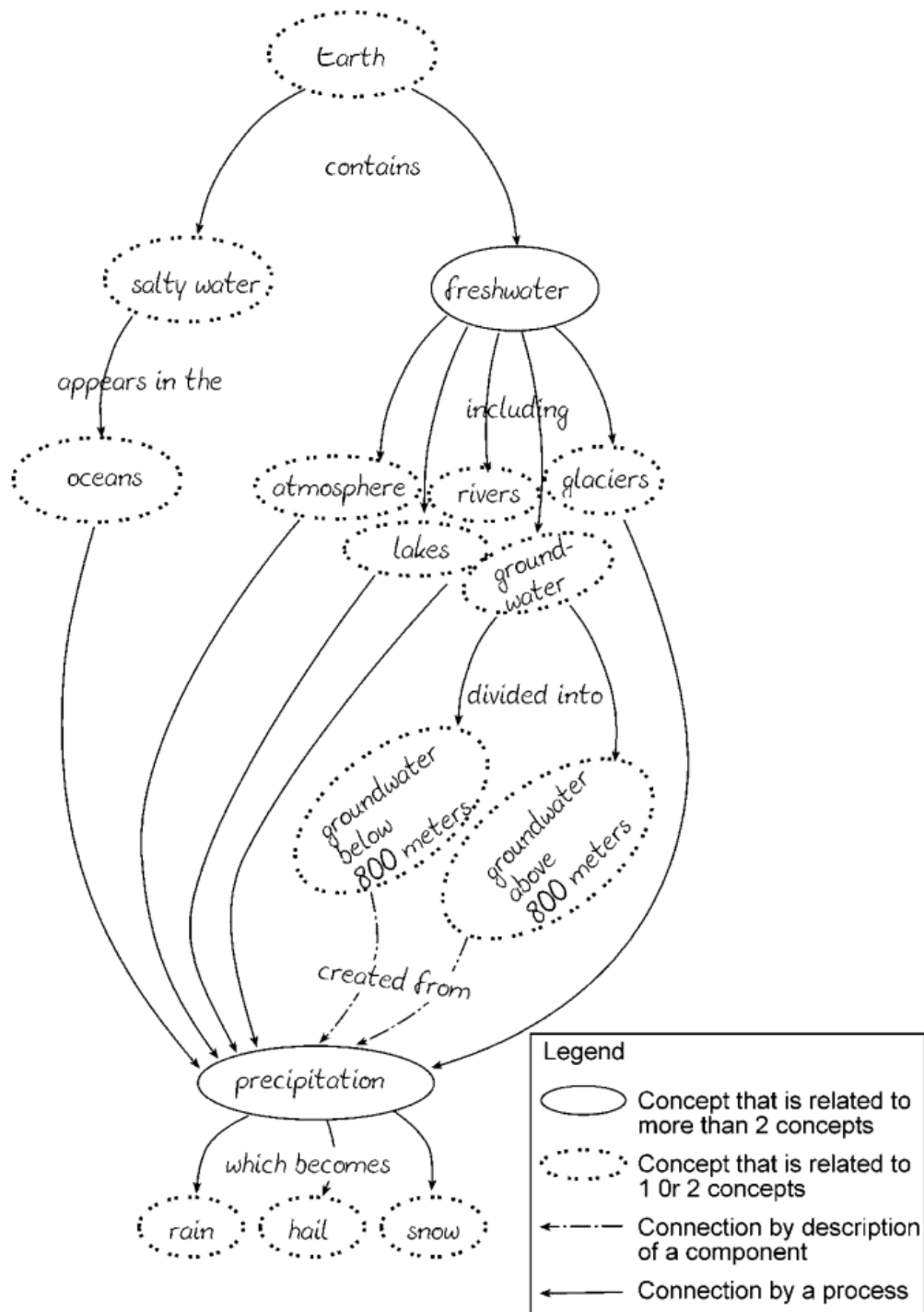


Figure 3. Tami's pre-test concept map.

ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์แบบพลวัตภายในระบบ การวิเคราะห์เครื่องมือวิจัยต่างๆ แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถปรับปรุงความสามารถในการระบุความสัมพันธ์แบบพลวัตภายในระบบได้ ตาราง 6 ระบุว่าในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ นักเรียน 66% อธิบายว่าน้ำใต้ดินเป็นทะเลสาบใต้ผิวดิน ที่คงที่ (ข้อ 2) อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบ posttest 60% ของนักเรียนได้นำเสนอโมเดลทางวิทยาศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินผ่านหินพรุน (ข้อ 1) ดังนั้น ในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่จึงเข้าใจบทบาทของน้ำใต้ดินในการส่งสสารภายในวัฏจักรของน้ำมากขึ้น อย่างไรก็ตาม 50% ของพวกเขายังคงยึดถือโมเดลคงที่ที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ในลักษณะคู่ขนานกับมุมมองทางวิทยาศาสตร์ (ข้อ 2) ดังนั้น ในการอธิบาย นักเรียนจึงให้เหตุผลว่าการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินผ่านหินพรุนเกิดขึ้นที่ส่วนบนของดิน แต่เมื่อน้ำไปถึงระดับความลึกหนึ่งแล้ว น้ำก็จะไหลลงสู่ทะเลสาบใต้ผิวดิน แนวคิดนี้ปรากฏอยู่ในภาพวาดของนักเรียนบางส่วน

ปัญหาของนักเรียนในการทำความเข้าใจธรรมชาติแบบพลวัตของน้ำใต้ดินถูกเปิดเผยเมื่อพวกเขาจำเป็นต้องอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับข้อความที่ว่า "น้ำใต้ดินสามารถพบได้ในพื้นที่ที่มีฝนตกเท่านั้น" ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ เพื่ออธิบายถึงการมีอยู่ของน้ำใต้ดินในพื้นที่แห้งแล้ง นักเรียน 73% ใช้โมเดล "การไหลของแม่น้ำ" บนพื้นดิน (รายการ 5 ของตารางที่ 6) ในโมเดลนี้ น้ำจะไหลจากพื้นที่ที่มีฝนตกชุกโดยแม่น้ำไปยังพื้นที่แห้งแล้ง ซึ่งน้ำจะซึมผ่านดินและทำหน้าที่เป็นน้ำใต้ดิน การวิเคราะห์ GDN posttest ตามที่แสดงในตารางที่ 6 เผยให้เห็นว่านักเรียนครึ่งหนึ่งรับรู้โมเดลแบบพลวัตแนวอนของการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินผ่านหินพรุนได้อย่างถูกต้อง (ข้อ 1 และ 5) การเปรียบเทียบผลการค้นพบนี้กับจำนวนนักเรียนที่ตอบคำถามเหล่านี้ได้ถูกต้องในตอนต้นของกระบวนการเรียนรู้ซึ่งมีน้อยมาก แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติแบบพลวัตของน้ำใต้ดินอย่างมีความหมาย การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดยังสนับสนุนการปรับปรุงการรับรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับกระบวนการแบบพลวัตภายในระบบ (ข้อ 12 ของตาราง 4) รูปที่ 5 ซึ่งอิงตามการวิเคราะห์แผนที่แนวคิดเช่นกัน แสดงถึงความก้าวหน้าของนักเรียนในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ในแง่ของการรับรู้แบบพลวัต การปรับปรุงนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในความสัมพันธ์กับนักเรียนที่ขยายความคุ้นเคยกับกระบวนการแบบพลวัต

ความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปของสสารภายในระบบโลกแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจของพวกเขากลับมาเกี่ยวกับธรรมชาติเชิงพลวัตของระบบโลก การวิเคราะห์ t test ของประโยค "การเปลี่ยนรูปของสสาร" ก่อนและหลังในแผนที่แนวคิดเผยให้เห็นว่านักเรียนมีการรับรู้เชิงพลวัตที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับระบบน้ำบนโลกดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ($t = 2.14, p = .04$) สามารถเห็นภาพขยายของการปรับปรุงนี้ได้ในรูปแบบที่ 4 และ 5 ซึ่งเป็นแผนผังแนวคิดก่อนและหลังของ Tami การวิเคราะห์ประโยค "การเปลี่ยนรูปของสสาร" ของ Tami นำเสนอในตารางที่ 7 (รายการ 13 และ 9)

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดก่อนและหลังของ Tami

ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้		
มิติภายในแผนที่แนวคิด	จำนวนข้อ	ตัวอย่าง
1. เกี่ยวข้องกับอุทกภาค	12	โลก น้ำจืด น้ำเค็ม ธารน้ำแข็ง แม่น้ำ ทะเลสาบ ฝน หิมะ ลูกเห็บ มหาสมุทร หยาดน้ำฟ้า
2. เกี่ยวข้องกับบรรยากาศ	1	บรรยากาศ
3. เกี่ยวข้องกับธรณีภาค	2	น้ำบาดาลต่ำกว่า 800 เมตร, น้ำบาดาลสูงกว่า 800 เมตร

4. แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดมากกว่า 2 แนวคิด	3	น้ำบาดาล น้ำจืด หยาดน้ำฟ้า
5. ประโยคที่แสดงการเปลี่ยนรูปของสสาร	1	น้ำบาดาลเกิดจากฝน
เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเรียนรู้		
มิติภายในแผนที่แนวคิด	จำนวนข้อ	ตัวอย่าง
6. เกี่ยวข้องกับอุทกภาค	8	น้ำ น้ำจืด น้ำเค็ม ธารน้ำแข็ง แม่น้ำ ทะเลสาบ ฝน มหาสมุทร
7. เกี่ยวข้องกับบรรยากาศ	1	บรรยากาศ
8. เกี่ยวข้องกับธรณีภาค	4	น้ำใต้ดิน ดิน การไหลใต้ดิน การซึมผ่าน
9. เกี่ยวข้องกับชีวภาค	5	รากพืช ปากใบ มนุษย์ การคายน้ำ การซึมผ่านของของเหลว
10. กิจกรรมของมนุษย์	4	โรงงานกลั่นน้ำ น้ำดื่ม ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง น้ำที่ใช้ได้ น้ำที่ใช้ไม่ได้
11. ความหลากหลายของกระบวนการ	9	การระเหย การซึมผ่าน การไหลใต้ดิน การไหลบนพื้นผิว การคายน้ำ การซึมผ่านของของเหลว มลพิษ การไหลของเหลว การทำให้บริสุทธิ์
12. แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดมากกว่า 2 แนวคิด	8	น้ำ บรรยากาศ มหาสมุทร แม่น้ำ และทะเลสาบ น้ำใต้ดิน มนุษย์
13. จำนวนวัฏจักร	4	วัฏจักรบรรยากาศ: การเชื่อมต่อผ่านฝนบนมหาสมุทร การเชื่อมต่อผ่านฝนบนพื้นดิน การแทรกซึมและการเชื่อมต่อผ่านน้ำที่มนุษย์ดึงเข้ามา การแทรกซึมและการเชื่อมต่อผ่านการไหลใต้ดินสู่มหาสมุทรหรือการคายน้ำจากพืช
14. ประโยคที่แสดงการเปลี่ยนรูปของสสาร	7	ก) น้ำสามารถตกลงสู่มหาสมุทร แม่น้ำ ดิน และทะเลสาบได้ (ข) ธารน้ำแข็งในมหาสมุทรละลาย น้ำในดินแทรกซึมเข้าไป แล้วน้ำใต้ดินก็ไหลลงมาใต้ดิน (ค) มนุษย์บริโภคน้ำจากการไหลบนผิวดิน เช่น แม่น้ำและทะเลสาบ (ง) รากพืชดูดซับน้ำใต้ดิน (จ) น้ำเคลื่อนที่ผ่านพืชผ่านระบบการซึมผ่านของเหลว (ฉ) น้ำถูกถ่ายโอนในท่อโดยมนุษย์ไปยังโรงงานกลั่น (ช) ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงท่วมลงไปในระบบน้ำใต้ดิน
15. ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของระบบ	3	(ก) มนุษย์ส่งผลต่อน้ำใต้ดินผ่านมลพิษจากปุ๋ยและยาฆ่าแมลง (ข) มนุษย์สามารถได้รับอิทธิพลจากน้ำใต้ดินในฐานะผู้บริโภค (ค) มนุษย์สามารถเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำได้โดยการทำให้น้ำบริสุทธิ์

ความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติเชิงวัฏจักรของระบบ จากการวิเคราะห์ pre-test (CTQ) ซึ่งนำเสนอในตารางที่ 8 พบว่านักเรียนประมาณ 62% อธิบายว่าวัฏจักรน้ำมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด (ข้อ 1) ผลการวิจัยนี้บ่งชี้ถึงความยากลำบากของนักเรียนในการทำความเข้าใจธรรมชาติเชิงวัฏจักรของระบบน้ำ คำตอบทั่วไปสำหรับข้อความที่ว่า: “เมฆเป็นจุดเริ่มต้นของวัฏจักรน้ำและก้อนน้ำที่บ้านคือจุดสิ้นสุด” คือ “ไม่เป็นความจริง เพราะมหาสมุทรและแม่น้ำเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดตามลำดับ” หรือ “มีจุดเริ่มต้นเพิ่มเติมอีก” นักเรียนประมาณ 12% เสนอแนวคิดที่กำกวมมากขึ้น เช่น “ในวัฏจักร ไม่มีจุดเริ่มต้นและไม่มีจุดสิ้นสุด” หรือ “กระบวนการแบบวัฏจักรไม่มีวันสิ้นสุด” (ข้อ 1) ผลการทดสอบ posttest ระบุว่านักเรียนครึ่งหนึ่งยังคงประสบปัญหาในการทำความเข้าใจธรรมชาติแบบวัฏจักรของระบบน้ำ ดังนั้นจึงเห็นด้วยว่าวัฏจักรน้ำมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด อย่างไรก็ตาม นักเรียน 30% ให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เมื่อเทียบกับ 12% ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้

Table 8
Students' perceptions as shown in a Cyclic Thinking Questionnaire (CTQ)

Level of agreement %										
Items	Pre			Post			<i>t</i>	<i>p</i>		
	AG	UC	DIS	AG	UC	DIS				
1	25.4	40.7	33.9	13.3	55.0	31.7	1.6	NS		
2	13.3	55.0	31.7	16.1	7.1	76.8	4.3	0.001		
3	48.1	23.3	28.3	30.4	8.9	60.7	3.1	0.03		
4	58.3	20.0	21.7	52.7	18.2	29.1	1.5	NS		
5	28.8	61.0	10.2	24.1	27.8	48.1	3.6	0.009		
6	53.3	26.7	20.0	74.1	9.3	16.7	3.6	0.009		
Level of explanations %										
Items	Pre				Post				<i>t</i>	<i>p</i>
	NS	IC	PC	SC	NS	IC	PC	SC		
1	62.5	14.6	10.4	12.5	39.5	14.0	16.3	30.2	3.1	0.004
2	48.2	12.5	12.5	26.8	12.2	2.0	8.2	77.6	5.3	0.001
3	55.6	2.2	20.0	22.2	20.0	5.0	27.5	47.5	2.4	0.02
4	65.3	16.3	10.2	8.2	44.2	11.6	7.0	37.2	3.2	0.003
5	80.5	4.9	4.9	9.8	35.0	5.0	5.0	55.0	5.2	0.0001
6	44.4	24.4	15.6	15.6	15.0	37.5	15.0	32.5	2.6	0.01

AG, เห็นด้วย; UC, ไม่แน่นอน; DIS, ไม่เห็นด้วย; NS, ไม่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์/ฉันไม่รู้/ไม่เกี่ยวข้อง; IC, ถูกต้องตาม

สัญชาตญาณ; PC, ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์บางส่วน; SC, คำอธิบายที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์

ข้อ 1: เมฆเป็นจุดเริ่มต้นของวัฏจักรน้ำและก้อนน้ำที่บ้านคือจุดสิ้นสุด

ข้อ 2: ปริมาณน้ำในมหาสมุทรเพิ่มขึ้นทุกวันเนื่องจากแม่น้ำไหลลงสู่มหาสมุทรอย่างต่อเนื่อง

ข้อ 3: การระเหยของน้ำที่เพิ่มขึ้นอันเป็นผลจากภาวะโลกร้อนอาจทำให้ปริมาณน้ำบนโลกลดลง

ข้อ 4 : หากประชากรบนโลกยังคงเพิ่มขึ้น การใช้น้ำก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำบนโลกลดลง

ข้อ 5 : ปริมาณน้ำที่ระเหยสู่ชั้นบรรยากาศจากพื้นผิวโลกทั้งหมดไม่เท่ากับปริมาณฝนที่ตกลงมาบนพื้นผิวโลก

ข้อ 6: ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่มหาสมุทรไม่มีผลต่อปริมาณน้ำทั้งหมด เนื่องจากน้ำจำนวนมหาศาลระเหยออกจากมหาสมุทรทุกปี

Cyclic value

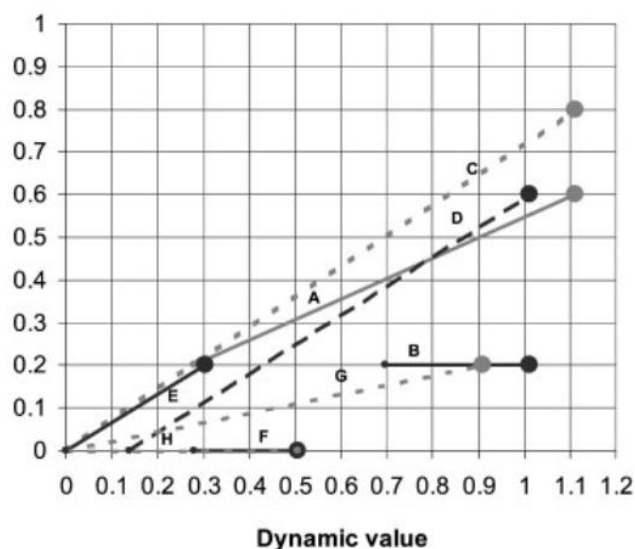


Figure 5. A graph that illustrates the relationships between cyclic perception and dynamic perception.

การทำความเข้าใจวัฏจักรของน้ำในฐานะระบบรวมถึงแนวคิดที่ว่าเราอาศัยอยู่ในโลกแห่งการหมุนเวียนของวัฏจักรของสสารและพลังงาน ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากระบบย่อยต่างๆ (ธรณีภาค อุทกภาค ชีวภาค และบรรยากาศ) ซึ่งปฏิสัมพันธ์กันผ่านการแลกเปลี่ยนพลังงานและวัสดุ แนวคิดนี้ได้รับการนำไปปฏิบัติในกระบวนการเรียนรู้ผ่านวัฏจักรเล็กๆ ชุดหนึ่ง que แสดงการเปลี่ยนรูปของสสาร (น้ำ) ระหว่างระบบย่อยของโลก วัฏจักรเหล่านี้รวมถึง (ก) วัฏจักรการระเหยของบรรยากาศและการเชื่อมต่อผ่านฝนบนมหาสมุทร (ข) การระเหยและการเชื่อมต่อผ่านฝนบนพื้นดิน (ค) หยาดน้ำฟ้าและการเชื่อมต่อผ่านแม่น้ำจากพื้นดินสู่ทะเล และ (ง) การแทรกซึมและการเชื่อมต่อผ่านการดิงน้ำใต้ดินหรือการคายน้ำจากพืช (รูปที่ 6)

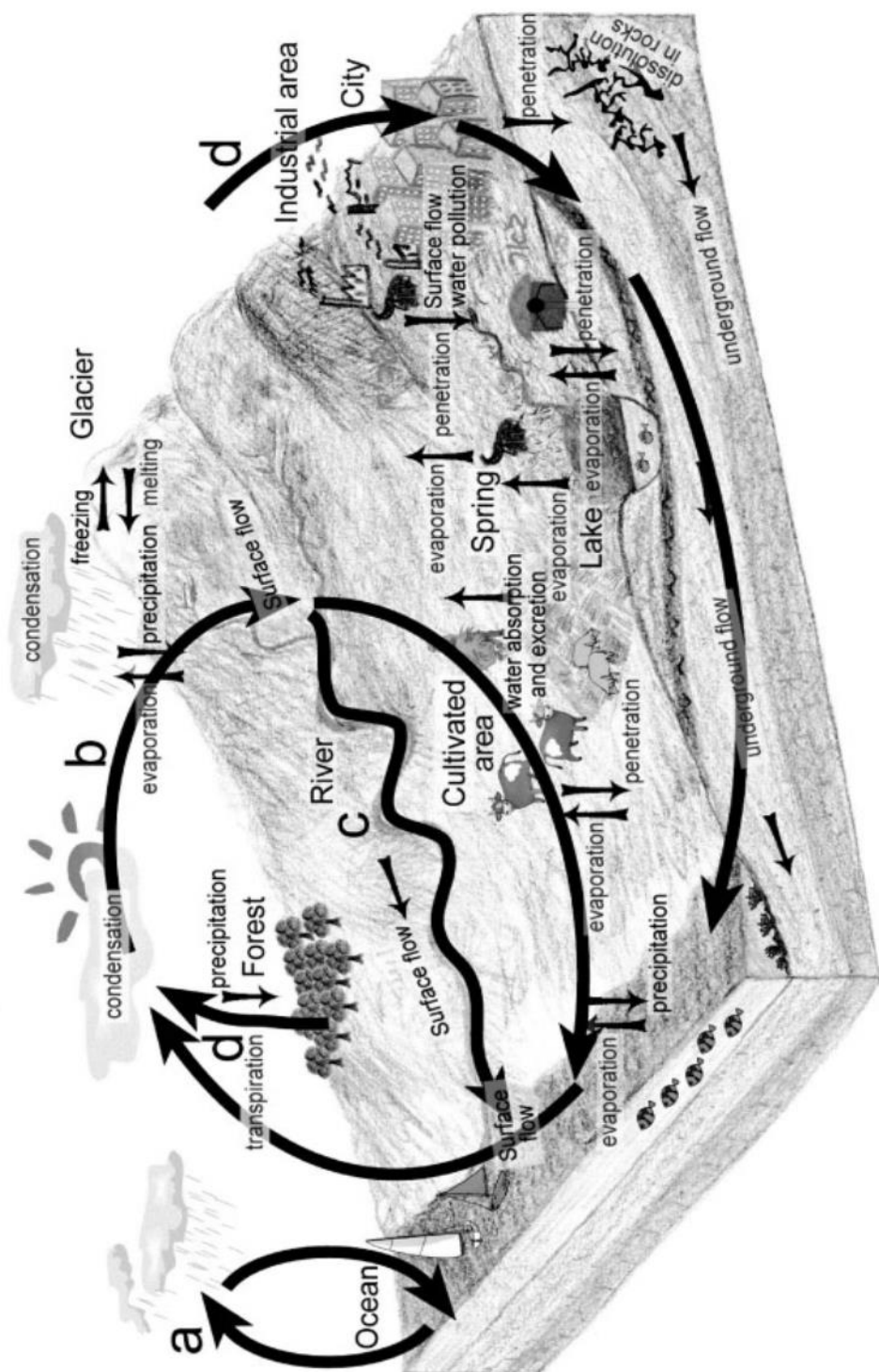


Figure 6. The main cycles that take place within the water cycle. (a) The atmospheric cycle – evaporation and connection via rain on the ocean; (b) Evaporation and connection via rain on the land; (c) Precipitation and connection via rivers from land to sea; (d) Penetration and connection via underground water or transpiration from plants.

จากการวิเคราะห์ภาพวาดพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเปลี่ยนจากการรับรู้เกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำแบบแยกส่วน ซึ่งนำเสนอการเปลี่ยนรูปของสสารภายในชั้นบรรยากาศเท่านั้น ไปเป็นมุมมองแบบองค์รวมมากขึ้นเกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำ ($std = 1.08$, $t = 5.99$, $p = .001$) อย่างไรก็ตาม นักเรียนส่วนใหญ่ยังคงประสบปัญหาในการทำความเข้าใจกระบวนการที่ซ่อนอยู่ซึ่งแสดงถึงธรรมชาติเชิงวัฏจักรของระบบ ดังนั้น นักเรียนประมาณ 37% นำเสนอภาพวาดการเชื่อมต่อผ่านแม่น้ำ การไหลของน้ำใต้ดิน หรือการคายน้ำในการทดสอบหลัง posttest เมื่อเทียบกับ 3.7% ในการทดสอบ pre-test (รูปที่ 7)

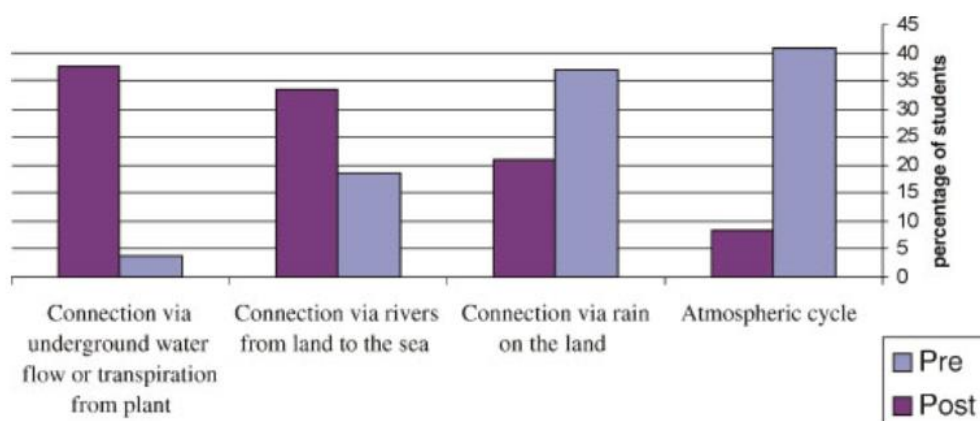


Figure 7. A pre-post comparison of the number of closed cycles that were presented by the student's drawings.

การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดเผยให้เห็นผลลัพธ์ที่คล้ายกัน ปรากฏว่านักเรียนส่วนใหญ่ปรับปรุงค่าการรับรู้แบบวัฏจักรของตนอย่างมีนัยสำคัญ (ข้อ 13 ของตาราง 4)

การวิเคราะห์ที่นำเสนอในภาพที่ 5 ทำให้เราสามารถประเมินความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาของการรับรู้แบบวัฏจักรและการรับรู้แบบพลวัตของระบบได้ เพื่อสร้างวัฏจักร นักเรียนควรผสมผสานกระบวนการแบบพลวัตที่หลากหลายเข้าเป็นโครงสร้างแบบวัฏจักรที่สอดคล้องกัน การวิเคราะห์กราฟที่แสดงในรูปที่ 5 เผยให้เห็นแบบแผนการพัฒนาแบบวัฏจักร-พลวัต 2 แบบในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ แบบแผนแรกแสดงถึงนักเรียนที่พัฒนาการรับรู้แบบวัฏจักรและการรับรู้แบบพลวัต (นักเรียน A, C, D และ E) นอกจากนี้ กราฟของนักเรียน A และ D บ่งชี้ว่านักเรียนที่เข้าสู่กระบวนการเรียนรู้โดยมีระดับการรับรู้แบบพลวัตเริ่มต้นเพียงเล็กน้อยสามารถปรับปรุงการรับรู้แบบพลวัตและแบบวัฏจักรได้อย่างน่าทึ่ง แบบแผนที่สองแสดงถึงนักเรียนที่ปรับปรุงการรับรู้แบบพลวัต แต่การรับรู้แบบวัฏจักรไม่ได้รับการปรับปรุง (นักเรียน B, F, G และ H)

โปรดทราบว่า การปรับปรุงการรับรู้แบบวัฏจักรของนักเรียนจะตามมาด้วยการปรับปรุงการรับรู้แบบพลวัตเสมอ การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างค่าพลวัตและแบบวัฏจักรของนักเรียน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน $.63$, $p = .0002$) ดังนั้น จึงเป็นไปได้ที่ความสามารถในการระบุกระบวนการแบบพลวัตเป็นเงื่อนไขบังคับสำหรับการพัฒนาการรับรู้แบบวัฏจักร แต่ก็ไม่ใช่เงื่อนไขเดียวเท่านั้น และยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถนี้ด้วย

รูปที่ 3 และ 4 แสดงแผนที่แนวคิดก่อนและหลังการทดสอบของ Tami (นักเรียน C) ตามลำดับ และแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของการคิดแบบวัฏจักรของเธอ เห็นได้ชัดว่าในตอนแรก Tami ละเลยธรรมชาติแบบวัฏจักรของระบบ (วัฏจักรน้ำ) หลังจากกระบวนการเรียนรู้ Tami สามารถรับรู้ถึงวัฏจักรทั้ง 4 วัฏจักร

(การเชื่อมต่อผ่านฝนบนมหาสมุทร การเชื่อมต่อผ่านฝนบนพื้นดิน และการแทรกซึมและการเชื่อมต่อผ่านการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน การดั่งหรือการคายน้ำจากพืช (ตารางที่ 7 รายการ 13)

นักเรียนส่วนใหญ่ในการทดสอบ posttest (CTQ) รับรู้ได้ว่าในกระบวนการแบบวัฏจักร ปริมาณสสารโดยรวมจะถูกอนุรักษ์ไว้ ตัวอย่างเช่น นักเรียนประมาณ 76% ไม่เห็นด้วยกับข้อความที่ว่า “ปริมาณน้ำในมหาสมุทรเพิ่มขึ้นทุกวัน” เนื่องจาก “แม่น้ำไหลลงสู่มหาสมุทรอย่างต่อเนื่อง” เมื่อเทียบกับ 31% ในการทดสอบ pre-test (ข้อ 2, ตาราง 8) นอกจากนี้ การทดสอบ pre-test ยังเผยให้เห็นว่าแม้นักเรียนจะคุ้นเคยกับกระบวนการระเหยแล้วก็ตาม แต่พวกเขาก็ลดอิทธิพลของกระบวนการนี้ลงในฐานะปรากฏการณ์ธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น นักเรียนเพียงประมาณ 26% เท่านั้นที่กล่าวถึงการระเหยว่าเป็นกลไกในการถ่ายเทน้ำจากมหาสมุทรสู่ชั้นบรรยากาศในคำอธิบายของตน (ตารางที่ 8, ข้อ 2) คำอธิบายทั่วไปที่ปรากฏระหว่างการสัมภาษณ์คือ “จริง น้ำระเหยออกจากมหาสมุทร แต่ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ระเหยไปนั้นน้อยเกินไป” การทดสอบ posttest บ่งชี้ว่านักเรียนประมาณ 77% ยอมรับว่าการระเหยเป็นกลไกในการเปลี่ยนรูปสสารภายในระบบ (ข้อ 2, ตาราง 8) ตัวอย่างเพิ่มเติมของความยากของนักเรียนในการทำความเข้าใจการเปลี่ยนรูปของสสารภายในวัฏจักรของน้ำสะท้อนให้เห็นในมุมมองของพวกเขาว่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่ระเหยจากพื้นผิวโลกทั้งหมดไปสู่ชั้นบรรยากาศไม่เท่ากับปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นผิวโลก การทดสอบ posttest ระบุว่านักเรียนมากกว่า 55% ใช้การคิดแบบวัฏจักรในการอธิบายเมื่อเทียบกับ 10% ในการทดสอบ pre-test (ข้อ 5, ตาราง 8)

ผลการศึกษาอาจบ่งชี้ว่าความยากลำบากของนักเรียนในการเข้าใจสัดส่วนของแหล่งกักเก็บต่างๆ ในวัฏจักรน้ำอาจได้รับผลกระทบจากนิสัยในการเน้นส่วนที่เป็นมนุษย์ในวัฏจักรน้ำมากเกินไป ตัวอย่างเช่น ในแบบสอบถามคำอธิบาย posttest นักเรียน 44% อ้างว่า “ยังมีคนอยู่มากขึ้น น้ำก็ยิ่งถูกใช้มากขึ้น” “ผู้คนจะใช้น้ำมากกว่าปริมาณน้ำที่บริโภค ดังนั้น น้ำจะหายไปมากขึ้น” (ข้อ 4, ตาราง 8) ในทางตรงกันข้าม มีนักเรียนเพียง 37% เท่านั้นที่ให้คำอธิบายแบบก้าวหน้า เช่น “มนุษย์มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำทั่วโลกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น” หรือ “ปริมาณน้ำบนโลกคงที่ และมีเพียงคุณภาพน้ำเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงไป” (ข้อ 4, ตารางที่ 8) ดูเหมือนว่านักเรียนพบกับความยากลำบากในกระบวนการเรียนรู้ เนื่องจากมีเพียงประมาณ 8% เท่านั้นที่นำเสนอคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ครบถ้วนในตอนเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้

ความสามารถในการจัดระเบียบส่วนประกอบและวางไว้ในกรอบความสัมพันธ์ การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดเผยให้เห็นว่าในตอนท้ายของกระบวนการเรียนรู้ นักเรียนสองในสามประสบความสำเร็จในการนำเสนอแผนที่แนวคิดที่มีความหมาย นักเรียนคนอื่นๆ อยู่ในระดับของการเชื่อมโยงคู่แนวคิด แต่ยังไม่สามารถเชื่อมโยงคู่เหล่านี้เข้ากับกรอบได้ การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดเผยให้เห็นว่าจำนวนการเชื่อมโยงระหว่างแนวคิดและจำนวนแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดมากกว่าสองแนวคิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ข้อ 2 และ 10, ตาราง 4)

รูปที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นการเติบโตของความสามารถของ Tami ในการจัดระเบียบองค์ประกอบและวางองค์ประกอบเหล่านั้นไว้ในกรอบความสัมพันธ์ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดอื่นมากกว่าสองแนวคิดจะสร้างแผนที่จุดโฟกัสที่สามารถบอกเราได้มากเกี่ยวกับ “เรื่องราว” ของแผนที่ ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ จุดโฟกัสส่วนใหญ่ของแผนที่ของ Tami เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของอุทกภาค เช่น น้ำจืด น้ำเค็ม ธารน้ำแข็ง แม่น้ำ ทะเลสาบ ฝน หิมะ ลูกเห็บ มหาสมุทร และปริมาณน้ำฝน แผนที่นี้แสดงเรื่องราวของการกระจายตัวของน้ำจืดและน้ำเค็มบนโลก (ข้อที่ 4 ของตารางที่ 7) แม้ว่าชื่อแผนที่ของ Tami คือ “วัฏจักรน้ำ” แต่แผนที่นี้ขาดกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงในวัฏจักรของน้ำ นอกจากนี้ แผนที่ยังรวมอุทกภาคเป็นหลัก และละเลยระบบอื่นๆ ของโลกโดยทั่วไป เช่น ธรณีภาค ชั้นบรรยากาศ และชีวนภาค รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ (ข้อ 1-3 ของตารางที่ 7) อย่างไรก็ตาม เมื่อดูรูปที่ 1 ซึ่งแสดงประโยคที่ Tami สร้างขึ้นในขั้นตอนการเตรียมแผนที่

จะเผยให้เห็นว่าเธอคุ้นเคยกับกระบวนการต่างๆ เช่น การแทรกซึมและการไหลบนผิวดิน และกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การแยกเกลือออกจากน้ำ ช่องว่างระหว่างความรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับส่วนประกอบของระบบและความสามารถในการรวมส่วนประกอบเหล่านั้นไว้ในโมเดลทางจิตของระบบปรากฏอยู่ในแผนที่แนวคิดหลายแผนที่ที่ได้รับการวิเคราะห์ในการศึกษานี้ เห็นได้ชัดว่าความตระหนักรู้เกี่ยวกับกระบวนการและสถานที่นั้นไม่เพียงพอที่จะสร้างเครือข่ายความสัมพันธ์ที่อธิบายระบบได้ เมื่อกระบวนการเรียนรู้ดำเนินไป ส่วนประกอบต่างๆ มากขึ้นเรื่อยๆ ก็ถูกนำมาผนวกเข้าในแผนที่แนวคิด อย่างไรก็ตาม นักเรียนบางคนยังคงนำเสนอการรับรู้เกี่ยวกับระบบแบบแยกส่วน ซึ่งไม่ได้รวมเอาความสัมพันธ์ที่นำเสนอโดยใช้เครื่องมือวิจัยอื่นๆ ไว้ด้วย

ปรากฏการณ์นี้ยังแสดงออกมาผ่านภาพวาดของนักเรียนด้วย นักเรียนมากกว่า 80% แสดงให้เห็นถึงความตระหนักรู้เกี่ยวกับมลภาวะสิ่งแวดล้อม และ 50% ของพวกเขาให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมเหตุสมผลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดังกล่าวอีกด้วย (ตาราง 6, ข้อ 7) นักเรียนไม่ถึง 25% รวมเอาลักษณะของมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำ น้ำเสีย และการใช้น้ำ มาไว้ในภาพวาดของตน (ตารางที่ 1, ข้อ 14-17)

ความสามารถในการสรุปผล ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่ไม่ดีนักเกี่ยวกับธรรมชาติเชิงระบบของวัฏจักรน้ำ ระดับของการสรุปผลที่แสดงไว้ในแผนผังแนวคิดนั้นจำกัดอยู่แค่ลักษณะของส่วนประกอบของระบบเท่านั้น ตัวอย่างเช่น การสรุปผลทั่วไปที่พบมากที่สุดที่ปรากฏในการทดสอบ pre-test คือ “ในโลกมีน้ำเค็มและน้ำจืด” หรือ “สัตว์และผู้คนต้องการน้ำเพื่อความอยู่รอด” การทดสอบ posttest แสดงให้เห็นว่านักเรียนได้ขยายการสรุปผลทั่วไปที่หลากหลายเกี่ยวกับระบบ ตัวอย่างเช่น นิพจน์ต่อไปนี้ปรากฏเฉพาะในแผนที่แนวคิด posttest : “น้ำบนโลกมีอยู่ในระบบต่างๆ เช่น ชีวภาคและบรรยากาศ”, “โลกส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยน้ำ”, “อิสราเอลเผชิญกับปัญหาขาดแคลนน้ำ”, “มีความสัมพันธ์ระหว่างธรณีภาคและอุทกภาค”, “ความพร้อมใช้น้ำสำหรับมนุษย์ได้รับผลกระทบจากระบบธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์”

ความเข้าใจในมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบ อีกแง่มุมหนึ่งของการคิดเชิงระบบเกี่ยวข้องกับการรับรู้มิติที่ซ่อนอยู่ของระบบ เช่น กระบวนการของระบบอุทกภาคซึ่งเกิดขึ้นใต้ผิวดิน (น้ำใต้ดิน) เป็นตัวอย่างมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบ การวิเคราะห์การสัมภาษณ์ 25 ครั้งที่เกี่ยวข้องกับงานมอบหมาย “ภาพระบบนิเวศ” (รูปที่ 1) เผยให้เห็นระดับความสามารถ 3 ระดับต่อไปนี้ในการระบุส่วนที่ซ่อนอยู่ของระบบ:

ระดับ A ครอบคลุมนักเรียนที่ (ก) เพิ่มองค์ประกอบที่มีอยู่แล้วในภาพ เช่น แมงมุม พุ่มไม้ แมลง สัตว์ฟันแทะ และมด หรือ (ข) เพิ่มองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่มีอยู่แล้ว ตัวอย่างเช่น รูปที่ 8 แสดงผลลัพธ์จากงานมอบหมายเรื่อง “ภาพระบบนิเวศ” ของ David, David วาดงูที่กินสัตว์ฟันแทะ หรือรังนก

ระดับ B ได้แก่ นักเรียนที่เพิ่มส่วนประกอบใหม่ที่อยู่บนพื้นผิวโลก แต่ไม่ได้รวมอยู่ในภาพดั้งเดิม เช่น ดิน ชันหิน น้ำ พืช บ้าน และกิจกรรมของมนุษย์

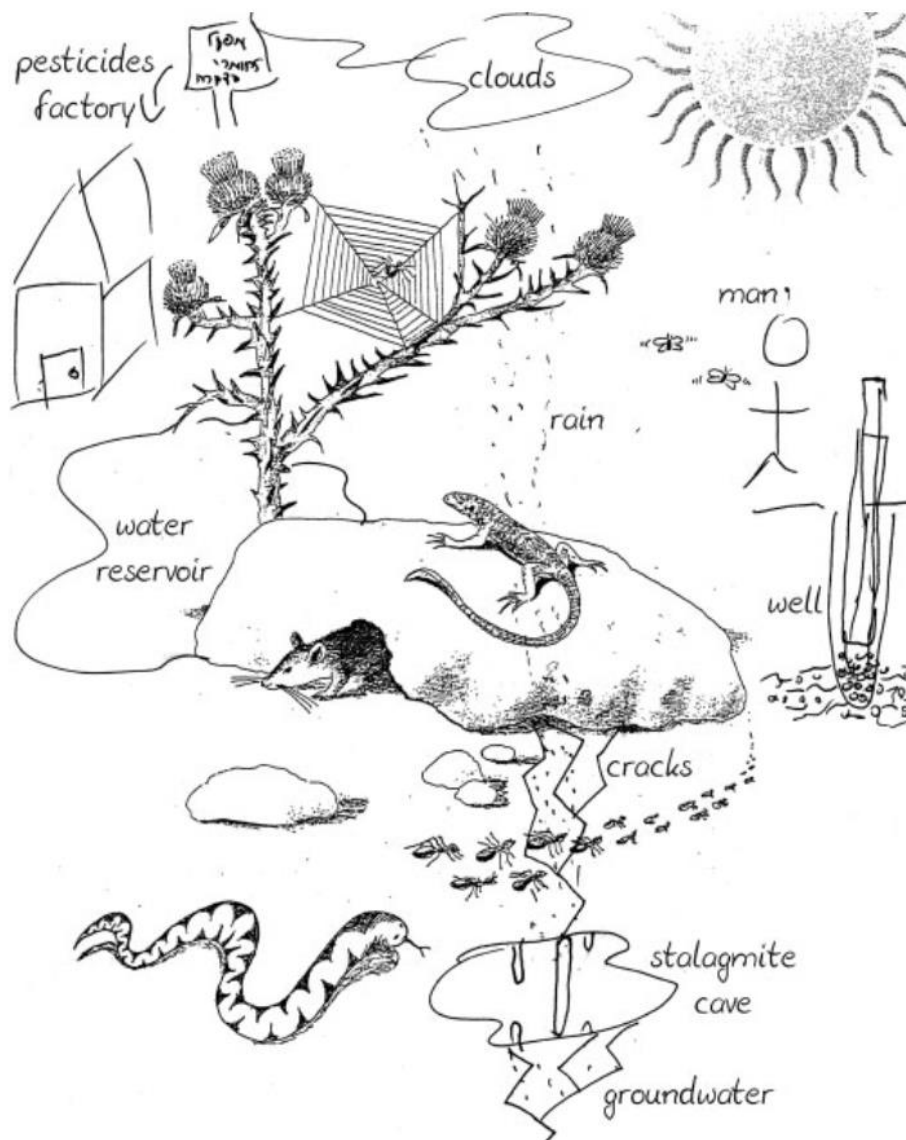
ระดับ C ได้แก่ นักเรียนที่นอกจากจะเพิ่มส่วนประกอบของระดับ B แล้ว ยังเพิ่มส่วนประกอบที่อยู่ใต้พื้นผิวโลก เช่น น้ำใต้ดิน บ่อน้ำ และน้ำพุอีกด้วย



รูปที่ 8 ตัวอย่างของนักเรียนที่เพิ่มส่วนประกอบที่มีอยู่แล้ว (เช่น หินเพิ่มเติม ต้นไม้เพิ่มเติม แมลงเพิ่มเติม ฯลฯ) และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบที่มีอยู่แล้ว (เช่น อาหารและรังที่ถูกเพิ่มเข้าไปสำหรับมด)

ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ นักเรียน 9 คนไปถึงระดับ A (ส่วนประกอบที่มีอยู่แล้วในภาพ) และนักเรียน 16 คนไปถึงระดับ B (ส่วนประกอบที่อยู่เหนือพื้นผิวโลก) แต่ไม่มีนักเรียนคนใดเพิ่มส่วนที่ซ่อนอยู่มากที่สุดของระบบที่มีอยู่ใต้พื้นผิว

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเรียนรู้ นักเรียน 5 คนย้ายจากระดับ A ไประดับ B และนักเรียน 5 คนย้ายจากระดับ B ไประดับ C, รูปที่ 9 นำเสนอผลลัพธ์ของ Dana จากงานเรื่อง “ภาพระบบนิเวศ” Dana วาดเมฆ ฝน ยาฆ่าแมลง โรงงาน มนุษย์ บ่อน้ำ และถ้ำหินงอก องค์ประกอบทั้งหมดเหล่านี้ได้รับการเน้นย้ำในกระบวนการเรียนรู้เกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำ ข้อเสนอแนะคือ Dana เป็นตัวอย่างของนักเรียนชั้นปีที่ 8 ที่ขยายขอบเขตของระบบและเปิดเผยมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบ



รูปที่ 9 ตัวอย่างของนักเรียนที่เพิ่มส่วนประกอบใหม่เหนือและใต้พื้นผิวที่ไม่มีอยู่หรือไม่มีนัยจากภาพเดิม เช่น เมฆ ฝน น้ำบนและใต้ดิน และกิจกรรมของมนุษย์

การคิดในมิติของเวลา สิ่งสำคัญที่ต้องทราบคือ นักเรียนกลุ่มเดียวกันที่พัฒนาความสามารถในการเข้าใจมิติที่ซ่อนอยู่ของระบบยังนำเสนอการคิดในมิติของเวลาด้วย

คำถามของ Dana ระหว่างการสัมภาษณ์เกี่ยวกับสินค้าคงคลังของโรงงาน และการอธิบายของเธอเผยให้เห็นถึงความสามารถในการมองย้อนหลังและการคาดการณ์ ตัวอย่างเช่น รูปที่ 10 นำเสนอคำถามของ Dana ซึ่งคำถามเกี่ยวกับชะตากรรมของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการคาดการณ์

Is industrial pollution necessary? An exercise in asking questions.

The following is a story describing an initiative for establishing a factory. Read the story well.

A certain city in Israel initiated the establishment of a factory for manufacturing paint products. It is known that during the process of paint production the factory was using water-soluble substances, and that its wastes were rinsed into the sewage. Adjacent to the factory there is a valley cleft, on whose edge a park was, established in which the city residents tour on weekends and holidays. The establishment of the factory must be rapid to overcome the serious unemployment situation of this city, involving hundreds of positions for the city residents.

Recently, you have been nominated as the head of the city's representative committee. The committee's mission is to prepare a document determining the effect of establishing the factory on the environment, and on the water property, especially. The committee that you are managing will eventually decide if the factory will be established.

To your service there is an expert team that is specialized in preparing surveys on the effects on the environment (i.e. a survey which determines the effect of certain projects on the environment).

Please, write at least two questions for each expert:

Area of expertise	The questions
Environmental quality	1. Will the establishment of the factory affect the environment? 2. Will the residual pollutants of the factory be discarded into the sewage only?
Geology (rocks science)	1. Are there any rocks near the stream? 2. What kind of rocks? 3. Do those rocks have any cracks?
Ecology (research of living creatures)	1. Will the factory affect the animals that are living around this area? 2. Will the animals live as usual also after the factory's build-up is completed?
Hydrology (water sciences)	1. Will the factory's residual wastes be discarded into the sewage only? 2. Should some of the wastes find their way into the stream, will they much affect the residents? 3. Do you intend to purify the sewage?
Economics (financial management)	1. What budget do you plan to allocate for the factory's purification project? 2. Will you cut the budget in this regard or will you allocate a suitable budget?
Chemistry	1. Are those toxic materials that should not be kept near humans? 2. Will those materials severely pollute the stream in case they will find their way into it?
Architect (house and landscape planning)	1. How do you plan to build-up the spill that will pour the wastes into the sewage and how do you plan to establish the factory?

รูปที่ 10 ผลลัพธ์ของคำตอบของ Dana ในงานมอบหมายเรื่อง "โรงงาน" ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการมองย้อนกลับและการคาดการณ์ของเธอ

เมื่อนักเรียนใช้ความสามารถในการคิดเชิงระบบในการแก้ปัญหา นักเรียนจะแปลความเข้าใจว่าระบบคือหน่วยที่ดำรงอยู่และทำหน้าที่โดยรวมผ่านปฏิสัมพันธ์ของส่วนต่างๆ ดังนั้น ระบบจึงก่อตัวเป็นองค์รวมที่ซับซ้อนและเชื่อมโยงกันซึ่งมีวัตถุประสงค์เฉพาะ อย่างไรก็ตาม ในส่วนของระบบโลก ระบบโลกแต่ละระบบยังทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบในระบบที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งก็คือโลกด้วย เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้ นักเรียนส่วนใหญ่ยังคงพบกับความยากลำบากในการนำแนวคิดนี้ไปใช้ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพของ Repertory Grid เผยให้เห็นว่านักเรียนบางคนสร้างการรับรู้ระบบที่เป็นองค์รวมมากขึ้นโดยสัญชาตญาณ ตัวอย่างของกระบวนการนี้สามารถแสดงได้โดยการเปรียบเทียบโครงสร้าง (ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบกลุ่มขององค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ) ที่นักเรียนชื่อ Sara ใช้ในช่วงเริ่มต้นและช่วงท้ายของกระบวนการเรียนรู้ ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของ Sara ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้เน้นไปที่ลักษณะของตำแหน่งของน้ำบนโลก ความเค็ม สถานะของสสาร ปริมาณน้ำ และการบริโภคน้ำของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น

คำถาม: Sara คุณบอกอะไรได้บ้างเกี่ยวกับองค์ประกอบทั้ง 3 องค์ประกอบนี้: แม่น้ำ มหาสมุทร และภูเขาน้ำแข็ง?

Sara: “มหาสมุทรเป็นชื่อยกเว้น พวกมันมีน้ำเค็ม ในขณะที่แม่น้ำและภูเขาน้ำแข็งมีน้ำจืด ดังนั้นระดับ 1 หมายถึงน้ำจืด และระดับ 5 หมายถึงน้ำเค็ม น้ำในบรรยากาศได้ระดับ 3 เพราะมีน้ำเค็มและน้ำจืดด้วยเช่นกัน”

คำถาม: น้ำเค็มจะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้อย่างไร?

Sara: “น้ำเค็มระเหยจากมหาสมุทร”

คำถาม: “แล้วคุณบอกอะไรได้บ้างเกี่ยวกับองค์ประกอบทั้ง 3 นี้ ทะเลสาบ มนุษย์ และแม่น้ำ”

Sara: “แนวคิดที่คล้ายกันคือทะเลสาบและแม่น้ำ มนุษย์เป็นชื่อยกเว้นตรงที่พวกเขาใช้น้ำจากแหล่งกักเก็บน้ำ เช่น ทะเลสาบ แม่น้ำ และน้ำใต้ดิน”

คำถาม: “องค์ประกอบ 3 อย่างต่อไปคือ แม่น้ำ ทะเล และฝน มีความคล้ายคลึงกันหรือไม่?”

Sara: “แนวคิด แม่น้ำและทะเลดูเหมือนจะคล้ายกัน แต่ฝนต่างกัน มหาสมุทรได้ 5 เพราะมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ทะเลได้ 4 และแม่น้ำ ทะเลสาบ และมนุษย์”

คำถาม: “3 องค์ประกอบสุดท้ายคือ น้ำใต้ดิน ภูเขาน้ำแข็ง และบ่อน้ำ”

Sara: “แนวคิดที่คล้ายกันคือ น้ำใต้ดินและบ่อน้ำ ในขณะที่แนวคิดที่แตกต่างกันคือภูเขาน้ำแข็ง น้ำในภูเขาน้ำแข็งดูเหมือนเป็นของแข็ง ดังนั้น 5 จะเป็นของแข็ง, 3 จะเป็นของเหลว และ 1 จะเป็นแก๊ส”

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างแนวคิดของ Sara เกี่ยวกับธรรมชาติเชิงพลวัตของระบบผ่านฝน “แนวคิดเรื่องแอ่งน้ำและทะเลมีความคล้ายคลึงกัน บ่อน้ำเป็นชื่อยกเว้นเพราะน้ำในบ่อมาจากน้ำใต้ดิน แต่แอ่งน้ำและทะเลได้น้ำมาจากฝน ดังนั้น มหาสมุทร ทะเล และทะเลสาบจึงได้ 5 เนื่องจากน้ำมาจากฝน ส่วนมนุษย์และบ่อน้ำได้ 1”

การวิเคราะห์ตารางการรับรู้ (repertory grid) และการอธิบายเพิ่มเติมของ Sara ในระหว่างการสัมภาษณ์เผยให้เห็นว่า หลังจากกระบวนการเรียนรู้ เธอสามารถพัฒนาความสามารถในการสร้างการรับรู้ที่ครอบคลุมมากขึ้นเกี่ยวกับระบบได้ ในท้ายที่สุด Sara ได้สร้างโครงสร้างที่อิงตามกระบวนการมากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อ Sara เปรียบเทียบแนวคิดต่างๆ ได้แก่ บรรยากาศ แม่น้ำ และน้ำพุ เธอได้พูดถึงธรรมชาติเชิงพลวัตของระบบ และแนะนำว่า “แหล่งกักเก็บน้ำ เช่น มหาสมุทร ทะเล และทะเลสาบ นำน้ำไปสู่บรรยากาศและเมฆ แต่ยังรับน้ำที่รวบรวมอยู่ในนั้นด้วย”

คำถาม: “ระหว่างแนวคิดเรื่องบรรยากาศ แม่น้ำ และน้ำพุ อะไรแตกต่างกัน?”

Sara: “บรรยากาศและแม่น้ำคือสถานที่ที่น้ำไหลมาและน้ำพุพุ่งทะลุมานมาจากน้ำใต้ดิน” “ดังนั้นระดับ 5 จึงแทนสิ่งต่างๆ เช่น บรรยากาศและแม่น้ำที่น้ำไหลมา และระดับ 1 แทนสิ่งต่างๆ ที่น้ำไหลมาได้ยาก”, “ฉันใส่เมฆไว้ในระดับ 5 เพราะน้ำสามารถเข้ามาจากบรรยากาศได้”

คำถาม: “น้ำเหล่านี้มีต้นกำเนิดจากอะไร?”

Sara: “แหล่งน้ำได้แก่ มหาสมุทร ทะเล และทะเลสาบ ซึ่งน้ำเหล่านี้จะนำพาไปสู่ชั้นบรรยากาศและเมฆ แต่ยังรับน้ำที่สะสมอยู่ในนั้นด้วย”

นอกจากนี้ เมื่อเธอเปรียบเทียบแนวคิดเรื่องบรรยากาศ แม่น้ำ และทะเลสาบ เธอเสนอแนะว่าบรรยากาศเป็นระบบ และแม่น้ำและทะเลสาบเป็นส่วนหนึ่งของระบบ คำจำกัดความของระบบของเธอรวมถึงความซับซ้อนของระบบ ตลอดจนลักษณะพลวัตของระบบ

Sara: “ในบรรดาแนวคิดเรื่องทะเลสาบ บรรยากาศ และแม่น้ำ บรรยากาศเป็นข้อยากเว้นเพราะมันเป็นระบบ และแม่น้ำและทะเลสาบก็เป็นส่วนหนึ่งของระบบ” “ดังนั้น 1 คือระบบ และ 5 เป็นส่วนหนึ่งของระบบ” “น้ำใต้ดินได้ 3 เพราะมันเป็นระบบ แต่ไม่ใช่ในฐานะอุทกภาคหรือบรรยากาศ”

คำถาม: “อะไรทำให้น้ำใต้ดินเป็นระบบ?”

Sara: “ตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของน้ำภายในนั้น และประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ส่วนตัวอย่างเช่น อุทกภาคประกอบด้วยมหาสมุทร ภูเขา น้ำแข็ง ทะเลสาบ ทะเล แต่ยังมีอื่นๆ อีก

อย่างไรก็ตาม Sara มักจะยึดถือโครงสร้างพื้นฐานบางอย่างซึ่งเธอพบว่ายากที่จะแทนที่ด้วยตัวอย่างเช่น เมื่ออธิบายแนวคิดเรื่องแม่น้ำ ลำธาร และน้ำใต้ดิน เธอใช้โครงสร้างที่ว่า “ปรากฏอยู่เหนือผิวน้ำ” และ “ปรากฏอยู่ใต้ผิวน้ำ” หลังจากถูกถามโดยเฉพาะเกี่ยวกับแหล่งที่มาของน้ำใต้ดิน เธอจึงชี้ให้เห็นกระบวนการซึมผ่านเป็นแนวคิดที่ถูกต้อง

Sara: “น้ำใต้ดินอยู่ใต้ผิวดิน และมีแม่น้ำและลำธารปรากฏอยู่เหนือผิวดิน”

Sara: “I don’t think so.”

คำถาม: “มีปัจจัยร่วมอื่นๆ ของแม่น้ำและลำธารที่แตกต่างจากน้ำใต้ดินหรือไม่?”

Sara: “ฉันไม่คิดอย่างนั้น”

คำถาม: “น้ำใต้ดินมีต้นกำเนิดจากอะไร?”

Sara: “ฉันเข้าใจว่าแม่น้ำและลำธารสามารถซึมผ่านเข้าไปในดินและก่อตัวเป็นน้ำใต้ดินได้ และน้ำใต้ดินไม่สามารถซึมผ่านได้เมื่อไปถึงชั้นหินที่ไม่สามารถซึมผ่านได้

โดยสรุป ผลการค้นพบที่น่าเสนอในส่วนนี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้เครื่องมือวิจัยจำนวนมากและการผสมผสานวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเข้าด้วยกันทำให้เราสามารถตอบคำถามการวิจัยเบื้องต้นได้ ในเวลาเดียวกัน การทับซ้อนกันที่เกิดขึ้นระหว่างผลการวิจัยของเครื่องมือต่างๆ ทำให้ผลการวิจัยมีความถูกต้องมากขึ้น

ผล pre-test บ่งชี้ว่านักเรียนในกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่แสดงให้เห็นถึงความยากลำบากอย่างน้อยสำคัญในทุกแง่มุมของการคิดเชิงระบบ แม้กระทั่งในแง่มุมพื้นฐานที่สุดของการระบุส่วนประกอบของระบบ นักเรียนเหล่านี้เข้าสู่ชั้นปีที่ 8 โดยมีความเข้าใจเกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำที่ไม่สมบูรณ์และซับซ้อน ในชั้นตอนนี้ พวกเขาคุ้นเคยกับองค์ประกอบของบรรยากาศในวัฏจักรเท่านั้น (เช่น การระเหย การควบแน่น และปริมาณน้ำฝน) และละเลยองค์ประกอบของน้ำใต้ดิน ชีวภาค และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ พวกเขายังขาดการรับรู้เชิงพลวัต

และเชิงวัฏจักรของระบบ และความสามารถในการสร้างความสัมพันธ์ที่มีความหมายระหว่างองค์ประกอบของระบบ นอกจากนี้ ยังพบปรากฏการณ์ของ “เกาะแห่งความรู้” ที่ขาดการเชื่อมโยงกัน ซึ่งรายงานโดย Kali et al. (2003) เกี่ยวกับความสามารถของนักเรียนในการเชื่อมโยงปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยาเข้ากับวัฏจักรหินที่มีความสอดคล้องกัน ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถเชื่อมโยงส่วนประกอบต่างๆ ของวัฏจักรน้ำเข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายที่มีความสอดคล้องกันได้ บางส่วนสามารถแสดงความสามารถในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบหลายๆ ส่วนได้ แต่ในขั้นตอนนั้น แม้นักเรียนเหล่านั้นก็ยังไม่สามารถวาดเครือข่ายความสัมพันธ์ที่สมบูรณ์ได้

เมื่อพิจารณาจากความรู้เบื้องต้นและความสามารถทางปัญญาของนักเรียน ผลการทดสอบ posttest ถือเป็นเรื่องน่ายินดีอย่างยิ่ง ผลการค้นพบเหล่านี้บ่งชี้ว่านักเรียนส่วนใหญ่เปลี่ยนจากการรับรู้เกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำแบบแยกส่วนไปสู่มุมมองแบบองค์รวมมากขึ้น นักเรียนประมาณ 70% ซึ่งในตอนแรกนำเสนอเฉพาะส่วนประกอบบรรยากาศของวัฏจักรน้ำ มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับส่วนประกอบและกระบวนการของวัฏจักรน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับนักเรียนประมาณครึ่งหนึ่ง การมีความรู้ความเข้าใจอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับส่วนประกอบของระบบนี้ส่งผลให้ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบภายในระบบดีขึ้น การวิเคราะห์แผนที่แนวคิดเผยให้เห็นว่าจำนวนแนวคิดและความเชื่อมโยงระหว่างแนวคิดและจำนวนแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดมากกว่าสองแนวคิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ นักเรียนส่วนใหญ่ยังปรับปรุงการรับรู้แบบพลวัตเกี่ยวกับระบบอีกด้วย ประมาณหนึ่งในสามของพวกเขาเข้าถึงระดับการรับรู้แบบวัฏจักรที่สูงขึ้น และยังสังเกตเห็นการปรับปรุงที่มีความหมายในความสัมพันธ์กับความสามารถของนักเรียนในการระบุส่วนที่ซ่อนอยู่ของระบบ

ดังนั้น สำหรับคำถามการวิจัยข้อแรกของเรา (นักเรียนมัธยมต้นสามารถจัดการกับระบบที่ซับซ้อนได้หรือไม่?) คำตอบเป็นเชิงบวก เมื่อพิจารณาจากจุดเริ่มต้นที่ต่ำมากของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนเกี่ยวกับความสามารถในการคิดเชิงระบบโดยทั่วไปและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบน้ำโดยเฉพาะ อาจมีข้อเสนอแนะว่าผลลัพธ์สุดท้ายของพวกเขาเป็นที่น่าพอใจมาก นอกจากนี้ยังมีการแนะนำว่าหากเด็กๆ มีส่วนร่วมในการศึกษาก่อนหน้าด้วยองค์ประกอบพื้นฐานของการคิดเชิงระบบ รวมไปถึงศึกษาเกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำพร้อมกับองค์ประกอบทั้งหมดของวิทยาศาสตร์โลก ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในชั้นปีที่ 8 ของพวกเขาก็อาจจะดีขึ้น

คำถามที่ 2: อะไรส่งผลต่อความสามารถของนักเรียนในการจัดการกับการรับรู้ระบบ?

การสังเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมได้จากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นถึงปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยที่อาจเป็นแหล่งที่มาของความก้าวหน้าที่แตกต่างกันของนักเรียน ได้แก่ (ก) ความสามารถทางปัญญาของนักเรียนแต่ละคน และ (ข) ระดับการมีส่วนร่วมในกิจกรรมบูรณาการความรู้ของการเรียนรู้แบบสืบเสาะรู้ทั้งในร่มและกลางแจ้ง

การวิเคราะห์การสังเกตในชั้นเรียนและงานมอบหมายบูรณาการความรู้ที่ส่งโดยนักเรียน 25 คนเผยให้เห็นรูปแบบการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ของนักเรียนที่ไม่เหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระดับการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ของนักเรียนทั้ง 3 ระดับต่อไปนี้เกิดขึ้น:

การมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ในระดับต่ำ: มีนักเรียน 8 คนที่อยู่ในหมวดหมู่นี้ ลักษณะเฉพาะของกลุ่มนี้ ได้แก่ นำเสนอบางส่วนในชั้นเรียนและในห้องปฏิบัติการ รวมถึงกิจกรรมการเรียนรู้กลางแจ้ง ในขณะที่เข้าร่วมในบทเรียน พวกเขาจะไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำของการทดลองและละเลยคำถามนำในใบงาน ไม่มีใครส่งงานบูรณาการความรู้ใดๆ

การมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้บางส่วน: นักเรียน 10 คนเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ใน

ร่วมและกลางแจ้งอย่างแข็งขัน อย่างไรก็ตาม พวกเขาตอบคำถามในใบงานเพียงบางส่วนและ
ส่งกิจกรรมบูรณาการความรู้เพียงบางส่วนเท่านั้น

การมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้อย่างเต็มที่: กลุ่มนี้ประกอบด้วยนักเรียน 7 คนที่เข้าร่วม
กิจกรรมการเรียนรู้ในร่วมและกลางแจ้งอย่างแข็งขัน พวกเขาปฏิบัติตามคำถามนำอย่าง

เคร่งครัดและส่งงานบูรณาการความรู้ทั้งหมด ซึ่งพวกเขาแสดงให้เห็นถึงระดับผลงานที่สูง

นักเรียนทั้ง 8 คนที่มีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้เพียงเล็กน้อยไม่สามารถนำเสนอแผนที่แนวคิดที่มีความ
หมายได้ และยังคงอยู่ในระดับเชื่อมโยงคู่แนวคิดได้ นอกจากนี้ พวกเขาไม่ได้พัฒนาความคุ้นเคยกับ
ส่วนประกอบและกระบวนการของวัฏจักรน้ำ ดังนั้น พวกเขาไม่ได้พัฒนาการรับรู้เชิงพลวัตและเชิงวัฏจักร
เกี่ยวกับระบบ

ปัจจัยร่วมสำหรับนักเรียนที่ปรับปรุงการรับรู้ "ที่ซ่อนอยู่" ของพวกเขาเกี่ยวกับระบบ ตลอดจนมิติเวลา
ของพวกเขา คือ พวกเขาทั้งหมดดำเนินกิจกรรมบูรณาการความรู้ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และมีส่วนร่วม
ในการเรียนรู้แบบทัศนศึกษา อย่างไรก็ตาม นักเรียนบางส่วนที่เข้าร่วมกระบวนการเรียนรู้เต็มที่ประสบ
ความสำเร็จในการใช้การรับรู้ระบบแบบพลวัตและแบบวัฏจักรในระดับสูง ดังนั้น จึงดูเหมือนว่าพวกเขามี
อุปสรรคทางปัญญาที่ขัดขวางไม่ให้พวกเขาใช้ศักยภาพเต็มที่ในการมีส่วนร่วมในกิจกรรมบูรณาการความรู้หรือ
ทัศนศึกษา อีกทางหนึ่ง นักเรียนที่แสดงถึงการคิดเชิงระบบในระดับสูงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการเรียนรู้ จะเริ่มต้น
กระบวนการนี้ด้วยความสัมพันธ์ที่หลากหลายค่อนข้างกว้างระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ และมีการ
รับรู้ระบบแบบวัฏจักรที่ค่อนข้างดี ตัวอย่างเช่น ภาพวาดของ Dana ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ได้
รวมเอาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำ เช่น "มนุษย์ทำให้แหล่งน้ำในบ่อน้ำปนเปื้อน" หรือ
"น้ำดื่มเกิดจากน้ำที่ถูกชะล้าง" ซึ่งไม่ค่อยพบในภาพวาดของนักเรียนคนอื่นๆ

ข้อมูลที่น่าเสนอข้างต้นบ่งชี้ว่าปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสามารถในการคิดเชิงระบบอย่างชัดเจนคือ
ความแตกต่างทางปัญญา Frank (2000) และคนอื่นๆ อ้างว่าการคิดเชิงระบบเกี่ยวข้องกับทักษะการคิด
ขั้นสูง (high-order thinking skills) ทักษะดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางจิตวิเคราะห์ที่ซับซ้อนซึ่งต้องใช้
การนิยามและการวิเคราะห์สถานการณ์ที่ซับซ้อนตามเกณฑ์ต่างๆ มากมาย (Resnick, 1987) ทักษะการคิด
ที่ซับซ้อนเหล่านี้สร้างอุปสรรคทางปัญญาให้กับนักเรียนจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับมัธยม
เนื่องจากประชากรเกือบทุกกลุ่มมีความแตกต่างทางปัญญา จึงอาจคาดหวังได้ว่าพัฒนาการทางปัญญาจะ
แตกต่างกันตามที่ได้พบในการศึกษาปัจจุบัน ดังที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ นักเรียนที่เข้าร่วมเชิงรุกในกระบวนการ
เรียนรู้ไม่ได้บรรลุถึงระดับการคิดเชิงระบบสูงสุดทุกคน สำหรับบางคน อุปสรรคทางปัญญาคือความสามารถใน
การรับรู้ความสัมพันธ์แบบพลวัตระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ สำหรับอื่นๆ มันคือความสามารถใน
การจัดระเบียบส่วนประกอบต่างๆ ภายในเครือข่ายความสัมพันธ์ และบางคนก็พบว่าอุปสรรคคือความสามารถ
ในการสรุปผลทั่วไป

ทักษะการคิดที่นักเรียนมัธยมมีส่วนร่วมในงานวิจัยปัจจุบันนี้ สามารถจำแนกได้อย่างชัดเจนว่าเป็น
ทักษะการคิดขั้นสูง ดังนั้น ผลการค้นพบปัจจุบันจึงสอดคล้องกับ Resnick (1987) ซึ่งอ้างว่าคำว่าทักษะ "ขั้น
สูง" นั้นเข้าใจผิดได้ง่าย เพราะคำดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าทักษะอีกชุดหนึ่ง ซึ่งเรียกกันว่า "ระดับล่าง" จำเป็นต้องมา
ก่อน เธอเสนอแนะว่ากิจกรรมประเภทต่างๆ ที่โดยทั่วไปเกี่ยวข้องกับการคิดนั้นไม่ได้จำกัดอยู่แค่ระดับ
พัฒนาการขั้นสูงเท่านั้น แต่อาจเป็นส่วนสำคัญในระดับประถมศึกษาในหลักสูตรการเรียนรู้หลายๆ หลักสูตรก็
ได้

ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว การจัดกลุ่มเครื่องมือวิจัยทั้งหมดแบบสามเส้าบ่งชี้ว่าเฉพาะนักเรียนที่เข้าร่วม
กิจกรรมทั้งในร่วมและกลางแจ้งเชิงรุกและส่งงานบูรณาการความรู้ทั้งหมดตลอดกระบวนการเรียนรู้เท่านั้นที่

สามารถเข้าถึงระดับความสามารถที่สูงขึ้นในการระบุเครือข่ายของความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันและ ส่วนประกอบที่ซ่อนอยู่ของระบบ สิ่งสำคัญคือต้องเน้นย้ำว่าไม่ใช่ทุกคนที่เข้าร่วมในกระบวนการเรียนรู้เชิงรุกจะไปถึงระดับที่สูงขึ้น แต่ไม่มีนักเรียนคนใดที่ไม่ส่งงานบูรณาการความรู้ทั้งหมดและแสดงทักษะการคิดเชิงระบบขั้นสูงดังกล่าว

จากการอภิปรายที่ยาวนานเกี่ยวกับว่าควรสอนทักษะการคิดหรือกลยุทธ์การแก้ปัญหาในบริบทของ พื้นที่วิชาหรือในหลักสูตรที่แยกจากกัน ดูเหมือนว่าผลการค้นพบของเราสนับสนุนแนวทางของ Csapo' (1999) ที่ว่าวิธีการที่เน้นเนื้อหา มีผลอย่างมากต่อการพัฒนาทักษะการคิดทั่วไป

การค้นพบว่าปัจจัยร่วมสำหรับนักเรียนทุกคนที่ก้าวข้ามอุปสรรคทางปัญญาทั้งหมด คือการมีส่วนร่วมสูงในกระบวนการเรียนรู้ อาจบ่งบอกได้ว่าการคิดเชิงระบบไม่เพียงได้รับอิทธิพลจากศักยภาพทางปัญญาเบื้องต้นของนักเรียนเท่านั้น แต่ยังได้รับอิทธิพลจากกลยุทธ์การเรียนรู้ที่เหมาะสมอีกด้วย กล่าวอีกนัยหนึ่ง การคิดเชิงระบบคือความสามารถทางปัญญาที่สามารถพัฒนาได้ผ่านการเรียนรู้เชิงการสอนผลการศึกษของเรา ร่วมกับผลการศึกษาของ Kali et al. (2003) อาจแนะนำว่าการเรียนรู้ดังกล่าวควรอิงจากการเรียนรู้แบบ สืบเสาะทั้งในร่มและกลางแจ้ง และในกิจกรรมบูรณาการความรู้

คำถามที่ 3: องค์ประกอบทางปัญญาของการคิดเชิงระบบมีความสัมพันธ์แบบใด?

การกระจายตัวที่แตกต่างกันของผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนเกี่ยวกับองค์ประกอบต่างๆ ของการคิดเชิงระบบเป็นกุญแจสำคัญต่อความสามารถของเราในการตอบคำถามการวิจัยข้อที่สาม จากการกระจายตัวดังกล่าว ซึ่งอิงตามการวิเคราะห์เครื่องมือวิจัยแบบสามเส้าจะสามารถจำแนกกลุ่มทักษะออกเป็น 4 กลุ่ม

กลุ่มแรกมีนักเรียนเป็นตัวแทน 70% และมี “ความสามารถในการระบุส่วนประกอบของระบบ” และ “ความสามารถในการระบุกระบวนการของระบบ” ความสามารถทั้งสองอย่างนี้สามารถจำแนกร่วมกันได้ว่า เป็น “ทักษะการวิเคราะห์ระบบ”

กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยทักษะ 2 ทักษะ ซึ่งทั้งสองทักษะได้รับการนำเสนอโดยกลุ่มตัวอย่างประมาณ 50% ได้แก่ “ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบที่แยกจากกัน” และ “ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์แบบพลวัตระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ”

ขั้นตอนที่สามประกอบด้วยทักษะ 3 ประการ ซึ่งมีการนำเสนอโดยประชากรตัวอย่างประมาณ 30–40% ได้แก่ “ความสามารถในการเข้าใจธรรมชาติแบบวัฏจักรของระบบ”, “ความสามารถในการจัดระเบียบส่วนประกอบต่างๆ และวางไว้ในเครือข่ายความสัมพันธ์” และ “ความสามารถในการสรุปผลทั่วไป”

กลุ่มที่สี่ได้รับการนำเสนอโดยกลุ่มตัวอย่างที่ถูกสัมภาษณ์จำนวนเล็กน้อย (10-30%) และ ประกอบด้วย การรับรู้ถึง “ส่วนประกอบที่ซ่อนอยู่ของระบบ” และการรับรู้ระบบภายในมิติของเวลา ซึ่งก็คือ ความสามารถในการทำนาย (คิดไปข้างหน้า) และความสามารถในการมองย้อนกลับไปที่อดีตของระบบ (การมองย้อนหลัง)

โดยพิจารณาจากสมมติฐานที่ว่าจำนวนนักเรียนที่มีทักษะการคิดเชิงระบบเฉพาะมีความสัมพันธ์กับระดับความยาก การแบ่งประเภทดังกล่าวข้างต้นอาจนำเสนอโครงสร้างพีระมิดแบบไล่ระดับของการพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ข้อมูลยังพบว่า นักเรียนไม่ผ่านกลุ่มใดๆ ต่อไปนี้ คือ กลุ่มที่ 2 ซึ่งมีเฉพาะนักเรียนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีเฉพาะนักเรียนที่ได้เรียนรู้ทักษะของกลุ่มที่ 2 เป็นต้น การค้นพบนี้อาจนำไปสู่สมมติฐานที่สำคัญมากกว่ากลุ่มทั้งสี่กลุ่มนี้มีลำดับขั้น และทักษะแต่ละกลุ่มทำหน้าที่เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาทักษะกลุ่มที่สูงขึ้นไป

แนวคิดลำดับขั้นนี้แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนจากความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้แบบพลวัตและการรับรู้แบบวัฏจักรของระบบ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในส่วนผลลัพธ์ มีนักเรียนที่ปรับปรุงการรับรู้แบบพลวัตของตนโดยไม่ปรับปรุงการรับรู้แบบวัฏจักร แต่ไม่มีนักเรียนคนใดปรับปรุงการรับรู้แบบวัฏจักรของตนโดยไม่ปรับปรุงการรับรู้แบบพลวัตด้วย ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าการรับรู้แบบพลวัตเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาการรับรู้แบบวัฏจักร

ผลการวิจัยยังอาจชี้ให้เห็นเส้นทางสองเส้นทางที่นักเรียนต้องผ่านเพื่อผ่านขั้นตอนที่สาม เส้นทางหนึ่งคือการพัฒนาการรับรู้ระบบแบบพลวัต ในขณะที่อีกเส้นทางหนึ่งคือการพัฒนาความสามารถในการแสดงระบบในฐานะเป็นเครือข่ายของความสัมพันธ์ เส้นทางทั้งสองนี้ไม่แยกจากกัน แม้ว่านักเรียนจะเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของสสารภายในระบบได้ดีขึ้น แต่พวกเขายังปรับปรุงความสามารถในการปิดวัฏจักรเหล่านี้ในเวลาเดียวกันได้อีกด้วย การพัฒนาการรับรู้แบบวัฏจักรนี้ทำหน้าที่เป็นกลไกในการระบุนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ และจัดระเบียบให้เป็นเครือข่าย นอกจากนี้ เฉพาะนักเรียนที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถทางปัญญาที่ดีในทั้งสองเส้นทางข้างต้นเท่านั้นที่จะสามารถไปถึงระดับที่สี่และระดับสูงสุดของการคิดเชิงระบบได้

การสนับสนุนสำหรับโมเดลของการพัฒนาการคิดเชิงระบบแบบลำดับขั้นมาจากการศึกษาสองครั้งก่อนหน้านี้ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการคิดเชิงระบบในบริบทของหลักสูตรระบบโลก การศึกษาวิจัยของ Kali et al. (2003) ซึ่งดำเนินการในบริบทของวัฏจักรหินสนับสนุนความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้แบบพลวัตและการรับรู้แบบวัฏจักร ในขณะที่ Gudovitch (1997) แนะนำโครงสร้างลำดับขั้นของการรับรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับวัฏจักรคาร์บอน ดังนั้น จึงแนะนำว่าผลการศึกษานี้ปัจจุบัน ซึ่งดำเนินการในบริบทของวัฏจักรน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาระบบโลกได้

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการวิจัยด้านการศึกษาในพื้นที่ของระบบโลกยังอยู่ในขั้นเริ่มต้น จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อทดสอบผลลัพธ์ปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์การเรียนรู้เพิ่มเติม ระดับอายุที่แตกต่างกัน วิชาต่างๆ ของระบบโลก และวัฒนธรรมที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ยังมีการเสนอแนะว่าควรทดสอบผลการค้นพบในปัจจุบันและการตีความในบริบทของระบบอื่นๆ ด้วย ได้แก่ ระบบเทคโนโลยี ระบบกายภาพ ระบบชีวภาพ และระบบสังคมวิทยา

การประยุกต์ใช้

จากผลการค้นพบและข้อสรุปของการศึกษาปัจจุบัน ขอแนะนำว่าประเด็นต่อไปนี้อาจช่วยปรับปรุงความสามารถของนักเรียนในการพัฒนาทักษะการคิดเชิงระบบ:

1. การแนะนำขั้นตอนแรกของการคิดเชิงระบบในระดับประถมศึกษา ได้แก่ ทักษะต่างๆ เช่น ความสามารถในการระบุส่วนประกอบของระบบ และการระบุนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบสองส่วน (หากนักเรียนเข้าสู่ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยความสามารถที่เพียงพอในระดับพีระมิดการคิดเชิงระบบที่ต่ำกว่า นักเรียนจำนวนมากขึ้นอาจสามารถไปถึงระดับการคิดเชิงระบบที่สูงขึ้นได้ในช่วงมัธยมศึกษาตอนต้น)
2. เน้นการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้
3. ใช้สภาพแวดล้อมการเรียนรู้กลางแจ้งเพื่อสร้างแบบจำลองที่เป็นรูปธรรมของระบบธรรมชาติ
4. ใช้กิจกรรมบูรณาการความรู้ตลอดทุกขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้