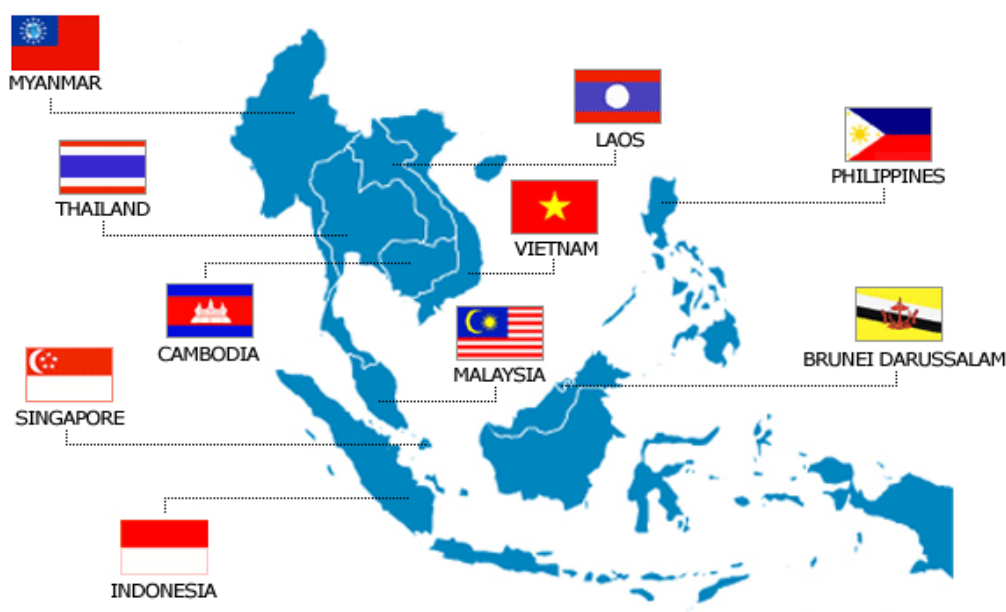


บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ที่ตั้งและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของแต่ละประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

เนื่องจากในเขตเมืองของประเทศกำลังพัฒนาในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้นมีลักษณะทางภูมิศาสตร์และที่ตั้งที่แตกต่างกัน โดยประเทศกำลังพัฒนาในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 10 ประเทศคือ ประเทศบรูไน ประเทศกัมพูชา ประเทศอินโดนีเซีย ประเทศลาว ประเทศมาเลเซีย ประเทศพม่า ประเทศฟิลิปปินส์ ประเทศสิงคโปร์ ประเทศไทย และประเทศเวียดนาม



รูปที่ 2.1 ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [1]

และในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 4 ประเทศ คือ ประเทศไทย ประเทศเวียดนาม ประเทศกัมพูชา และประเทศอินโดนีเซีย

2.1.1 ประเทศไทย

ประเทศไทยมีเนื้อที่ 513,000 ตารางกิโลเมตร หากดูตามแผนที่จะพบว่า มีรูปร่างเหมือนขวานโบราณ ตามการแบ่งขนาดของประเทศทางภูมิศาสตร์การเมือง ประเทศไทยจัดเป็นประเทศขนาดใหญ่อันดับที่ 3 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และใหญ่เป็นอันดับที่ 51 ของโลก โดยมีพรมแดนทางทิศตะวันออกติดสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวและราชอาณาจักรกัมพูชา ทิศใต้ติดอ่าวไทยและมาเลเซีย ทิศตะวันตกติดทะเลอันดามันและสหภาพพม่า ทิศเหนือติดสหภาพพม่าและสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว [2]

ภูมิประเทศของไทยแบ่งออกเป็น 6 ลักษณะ คือ

1. เขตภูเขาและที่ราบระหว่างภูเขาภาคเหนือ ทิวเขา ภูเขา และแอ่งแผ่นดินระหว่างเขาทางภาคเหนือ เป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำลำธารหลายสายที่ไหลลงแม่น้ำโขง แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำสาละวิน พื้นที่เหล่านี้เป็นที่ราบดินตะกอนที่แม่น้ำไหลพามาทับถม ทำให้มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะสำหรับการตั้งถิ่นฐานและทำการเกษตร ที่ือกเขาที่สำคัญ ได้แก่ เทือกเขาหลวงพระบาง เทือกเขาแดนลาว เทือกเขาดนงชัย เทือกเขาฝิปันน้ำ เทือกเขาขุนตาน และเทือกเขาเพชรบูรณ์ มียอดเขาที่สูงที่สุดของประเทศคือยอดอินทนนท์ ในจังหวัดเชียงใหม่ สูงประมาณ 2,595 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง
2. เขตที่ราบภาคกลาง เป็นที่ราบดินตะกอนที่หนาแน่นและกว้างขวางที่สุดของไทย มีแม่น้ำที่สำคัญ คือ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำป่าสักและแม่น้ำบางปะกง เนื่องจากเป็นที่ราบกว้างใหญ่พื้นที่อุดมสมบูรณ์จึงเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่สำคัญ และเป็นเขตที่มีประชากรหนาแน่นที่สุดของประเทศ

2.1.2 ประเทศเวียดนาม

ประเทศเวียดนามเป็นประเทศที่ใหญ่ที่สุดในคาบสมุทรอินโดจีนมีพื้นที่ทั้งสิ้นประมาณ 329,466 ตารางกิโลเมตร (127,207 ตารางไมล์) ตั้งอยู่ทางด้านตะวันออกของคาบสมุทรอินโดจีน มีรูปร่างยาวโค้ง ตอนกลางแคบทอดเป็นแนวยาวจากเหนือจรดใต้ เป็นระยะทางประมาณ 1,350 ไมล์ และมีฝั่งทะเลยาวประมาณ 1,400 ไมล์ รูปร่างคล้ายพัดจีน มีด้านอยู่ทางตอนใต้ มีอาณาเขตติดต่อกับประเทศต่างๆ คือ [3]

ทิศเหนือ ติดต่อกับประเทศจีน ในเขตแคว้นยูเนียน กวางสี และกวางตุ้ง
 ทิศตะวันออก จรดอ่าวตังเกี๋ย และทะเลจีน
 ทิศใต้ จรดทะเลจีน และอ่าวไทย
 ทิศตะวันตก จรดประเทศกัมพูชา และประเทศลาว

ลักษณะภูมิประเทศ โดยทั่วไปเป็นป่าเขาทางภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางตะวันออกเฉียงเหนือ ติดต่อกับจีน จะมีภูเขามากที่สุด เส้นทางคมนาคม มีแต่ตามช่องเขาต่างๆ ภาคกลางเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำแดง เป็นที่อุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การเพาะปลูก ภาคใต้เป็นที่ราบริมฝั่งทะเล ทำการเพาะปลูกได้ตามพื้นที่ปากแม่น้ำต่างๆ โดยเฉพาะบริเวณที่ราบลุ่มปากแม่น้ำโขงอันกว้างใหญ่ พื้นที่ในแคว้นตังเกี๋ย พื้นที่ทางตอนเหนือและทางตะวันตกเป็นทิวเขา แต่ละทิวเขาทอดจากตะวันตกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ พื้นที่ทางชายแดน ที่ติดต่อกับประเทศจีน ในเขตมณฑลยูนนาน และกวางสีเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อน มีหน้าผาชันและเหวลึก มียอดเขาสูงเรียงรายกันไป สิ้นสุดในแนวของหมู่เกาะต่างๆ ในอ่าวตังเกี๋ย

ทิวเขาอันนัม ซึ่งเป็นแกนของพื้นที่ ประกอบด้วยเทือกเขาที่สลับซับซ้อน และมีที่ราบสูงหลายแห่งอยู่ติดต่อกัน บางแห่งมีความสูงถึง 3,140 เมตร ทิวเขาเหล่านี้แผ่กว้างออกไปในพื้นที่ตอนเหนือและตอนใต้

ที่ราบสูงตอนเหนือ อยู่ทางตอนเหนือของแม่น้ำแดง เป็นบริเวณที่มีหินเขาคัน ประกอบด้วยที่ราบสูงที่มีหินทราย และหินปูน ส่วนใหญ่เป็นป่าเขามีบางส่วนเป็นที่นา

พื้นที่ลุ่มตังเกี๋ย เป็นพื้นที่ลุ่มบริเวณปากแม่น้ำแดง รวมกับที่ลุ่มปากแม่น้ำอื่นๆ อีกหลาย สายทางภาคเหนือโดยทั่วไปเป็นที่ราบลุ่มเป็นดินทรายที่ถูกแม่น้ำต่างๆ พัดพามาสะสมไว้ จึงเป็นบริเวณที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกมาก โดยเฉพาะพื้นที่ปากแม่น้ำแดงมีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่น ส่วนใหญ่มีอาชีพทางเกษตรกรรมพื้นที่ลุ่มบริเวณดังกล่าว โดยทั่วไปมีความสูงจากระดับน้ำทะเล ไม่เกิน 10 ฟุต มีคลองส่งน้ำเป็นจำนวนมาก แยกจากแม่น้ำแดง นอกจากนั้นยังมีแม่น้ำสายสั้นๆ อีกหลายสายเช่น แม่น้ำคำที่ไหลจากที่ราบสูงทางตอนเหนือของแคว้นตังเกี๋ย

พื้นที่สามเหลี่ยม (Delta) ที่เกิดจากแม่น้ำมา แม่น้ำชู และแม่น้ำคา ทำให้เกิดที่ลุ่มขยายลงมาทางส่วนใต้ตอนใกล้ทะเล

แคว้นดั่งเกี๋ยเป็นดินแดนที่กว้างขวางที่สุดของเวียดนาม มีพื้นที่ประมาณ 116,000 ตารางกิโลเมตร ระยะทางจากเหนือจรดใต้ประมาณ 380 กิโลเมตร และจากตะวันออกจรดตะวันตก ประมาณ 600 กิโลเมตร

พื้นที่ระหว่างแม่น้ำโขงกับแม่น้ำแดง เป็นพื้นที่ติดต่อกับประเทศลาว ส่วนใหญ่เป็นภูเขาหินปูนความสูงของพื้นที่โดยเฉลี่ยแล้วสูงกว่าที่ราบดั่งเกี๋ยมาก

แม่น้ำที่สำคัญในบริเวณนี้คือแม่น้ำดำ ซึ่งไหลผ่านเข้าไปในภูเขาแคบๆ ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างใดแก่พื้นที่แม่น้ำดำไหลขนานไปกับแม่น้ำแดง แล้วไปบรรจบกับแม่น้ำแดงทางเหนือของกรุงฮานอย กระแสน้ำไหลเชี่ยวมาก

พื้นที่แคว้นอันนัม เป็นที่ราบแถบริมฝั่งทะเลยาวตลอดลงไปทางใต้ ทางทิศตะวันตกเป็นทิวเขาสูงกั้นเขตแดนระหว่างลาวกับเวียดนาม มีแม่น้ำสายสั้นๆ ไหลลงสู่ทะเล ทางด้านทิศตะวันออก ภูเขาแบ่งออกได้เป็นสามบริเวณคือ

1. บริเวณภาคเหนือของแคว้นดั่งเกี๋ย เป็นบริเวณพื้นที่ทางตะวันออกของแม่น้ำแดงแยกออกเป็น บริเวณย่อยๆ ได้ สามบริเวณคือ

- บริเวณแม่น้ำขาว กับชายทะเล เป็นบริเวณที่กว้างที่สุด ประกอบด้วยทิวเขา และสันเขาเป็นรูปโค้งซ้อนทับกัน หันเข้าหาทางทิศตะวันออก และทิศตะวันออก และทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีอยู่สี่ทิวเขาด้วยกันคือ ทิวเขาซงก่า (Song Gam) อยู่บริเวณตอนกลางของแม่น้ำดำ มีหุบเขาอีกและทะเลสาปหลายแห่ง มียอดสูงสุดประมาณ 1,970 เมตร ทิวเขางามซัน (Ngan Son) มียอดสูงสุด 1,930 เมตร ทิวเขาบัคซัน (Bac Son) เป็นต้นกำเนิดแม่น้ำเทือง (Song Thuang) หุบเขานี้มีความลาดชันมาก เป็นช่องทางเชื่อมมณฑลกว๋างสีของจีนกับเมืองล้งซัน (Long Son) ของเวียดนาม ทิวเขาดองเตริยม (Dong Triam) เริ่มจากเมืองฟูลงเทือง (Phu Long Thuang) ไปจรดชายแดนประเทศจีน มียอดสูงสุด 1,500 เมตร ตอนกลางของทิวเขามีถ้ำหินอุคตมสมบูรณ์มาก

- บริเวณเมืองไทกูเยิน (Thai Ngu Yen) เมืองตูเยิน (Tuyen) เมืองเยินเบ (Yen Bay) และเมืองพูโค (Phu Tho) เป็นบริเวณที่ประกอบด้วยภูเขาเตี้ยๆ และหุบเขากว้างๆ มีทิวเขาสูงอยู่เพียงยอดเดียวคือ ทิวเขาดันดา (Tan Da) สูงประมาณ 1,590 เมตร

- บริเวณที่ราบสูงติดต่อกับชายแดนจีนในเขตมณฑลยูนนาน ที่ราบสูงในมณฑลยูนนานของจีนได้ยื่นเข้ามาทางภาคเหนือของแคว้นดั่งเกี๋ย ที่ราบสูงเหล่านี้มีลักษณะเหล่านี้มีลักษณะแตกต่างกันมาก ประกอบด้วย ที่ราบสูงปางคาน (Pang Khan) มีทิวเขาซงเซ (Song Chay) มียอดสูงประมาณ 2,430 เมตร ที่ราบสูงพูทาคา (Pou Tha Ca) และที่ราบสูงดองตวน (Dong Tuan) ซึ่งอยู่ในเมืองเคาบัง

(Cao Bang) และเมืองล้งซัน (Long Son) เหล่านี้เป็นต้นกำเนิดของลำน้ำสั้นๆ ไหล ไปบรรจบแม่น้ำชีเกียว (Si Kiang) ในประเทศจีน

2. ทิวเขาบริเวณแม่น้ำแดงกับแม่น้ำโขง เป็นบริเวณที่มีทิวเขาหนาแน่นที่สุด ทิวเขาเหล่านี้มีทิศทางจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้

- ทิวเขาฟานสีปัน (Fan Si Pan) อยู่ระหว่างแม่น้ำแดงกับแม่น้ำดำ มีความยาว ประมาณ 180 กิโลเมตร มีความสูงประมาณ 1,500 เมตร สูงสุดประมาณ 2,980 เมตร มีที่ราบสูงทายังพัน (Ta Yang Pan) ซึ่งมีความสูงถึง 2,000 เมตร ทิศใต้ของทิวเขาฟานสีปัน จนถึงที่ราบสูงตรันนินห์ (Tran Ninh) ในประเทศลาว พื้นที่ประกอบด้วยทิวเขาที่มีทิศทางจากตะวันตกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิวเขาเหล่านี้ก่อให้เกิดลำน้ำและที่ราบเล็กๆ ทั้งสองฝั่งของลำน้ำคือบริเวณลุ่มแม่น้ำดำ เริ่มตั้งแต่เมืองไลเจา (Lai Chau) จนถึงหัวบิ่นห์ (Hoa Binh) ต่อไปจนถึงเมืองวูบาน (Yu Ban) และเมืองฟูโนกวาน (Phu Nho Quan)

3. ที่ราบสูงตั้งแต่ชายแดนติดต่อกับมณฑลยูนนาน ประเทศจีนจนถึงที่ราบสูงซองลา (Song la) และที่ราบสูงมอก (Moc)

- ทิวเขาตรันห์ห้าว (Tharh Hoa) อยู่บริเวณลุ่มแม่น้ำมา (Song Ma) ทางตอนเหนือทิวเขาอันนัมในแคว้นอันนัมตอนเหนือ เป็นทิวเขาที่ยาวเหยียดจากบริเวณที่ราบสูงตรันนินห์ (Tran Ninh) ในประเทศลาว ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และขนานกับชายทะเล จากทางตอนเหนือของแคว้นไปสุดทางใต้ของเวียดนาม ทิวเขานี้มีความสูงไม่มากนักบางตอนแคบมาก และเป็นหน้าผาชันเป็นทิวเขาที่แบ่งประชากรที่อาศัยอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียง และภาคตะวันตกของภูเขา

แม่น้ำแยกออกได้เป็นสองบริเวณคือแม่น้ำบริเวณแคว้นดั่งเกีย มีแม่น้ำที่สำคัญอยู่สองสายคือ

- แม่น้ำแดง มีความยาวประมาณ 1,200 กิโลเมตร ต้นน้ำอยู่ในเขตมณฑลยูนนาน ประเทศจีนมีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ แม่น้ำแดงไหลเข้าเขตประเทศเวียดนาม ในเขตเมืองลาวกาย (Loa Kay) และมีความยาวจากเมืองลาวกาย จนถึงปากแม่น้ำที่ไหลไปลงสู่ทะเล มีความยาวประมาณ 500 กิโลเมตร

ปริมาณน้ำในแม่น้ำแดง ในฤดูแล้งกับฤดูน้ำมีความแตกต่างกันมาก ฤดูน้ำมากอยู่ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงเดือนตุลาคม น้ำในแม่น้ำแดงมีระดับสูงไม่เป็นเวลาไม่แน่นอน แล้วแต่ปริมาณฝนตกบนภูเขา

- แม่น้ำไทยบิ่นห์ (Thai Binh) มีความยาวไม่มาก โดยเริ่มต้นจากจุดรวมของแควซองคัค (Song Cad) และซองตัง (Song Thoung) ไปถึงบริเวณที่จรดกับคลองเรปิด ต่อจากนั้นแม่น้ำไทยบิ่นห์ก็กลายเป็นสาขาหนึ่งของแม่น้ำแดงในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำแดง

บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำแดง มีแม่น้ำลำคลองใหญ่น้อย มาเชื่อมติดต่อกัน แล้วไหลลงสู่ทะเลจีนในอ่าวตังเกี๋ย บริเวณนี้ปรากฏว่า มีน้ำท่วมอยู่บ่อย ๆ จึงจำเป็นต้องสร้างเขื่อนกั้นน้ำ เพื่อให้ใช้พื้นที่ทำการเพาะปลูกได้ ในบางแห่งสามารถทำนาได้ปีละสองครั้ง

- แม่น้ำบริเวณตอนเหนือของแคว้นอันนัม ทางตอนเหนือของแคว้นอันนัม มีทิวเขาอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลมากกว่าทางตอนใต้ลงไป แม่น้ำบริเวณนี้จึงมีความยาวกว่าแม่น้ำซึ่งเกิดจากทิวเขาอันนัม ซึ่งเป็นเส้นเขตแดนติดต่อกับประเทศลาว แม่น้ำเหล่านี้จะไหลลงสู่ทะเลทางด้านทิศตะวันออก มีแม่น้ำที่สำคัญ ๆ คือ แม่น้ำซู่ (Song Cho) และแม่น้ำมา (Song ma) มีความยาวประมาณ 500 กิโลเมตร ไหลลงสู่ทะเลจีนในบริเวณเมืองทันหัว (Than Hoa) มีที่ราบลุ่มระหว่างสองฝั่งแม่น้ำ และบริเวณปากน้ำใช้ในการเพาะปลูก ต้นน้ำของแม่น้ำดังกล่าว อยู่ในแคว้นซาเหินของประเทศลาว แม่น้ำคา (Song Ca) เกิดจากที่ราบสูงตรันนินห์ (Tran Ninh) ในประเทศลาว ไหลลงสู่ทะเลจีนบริเวณเมืองวินห์ (Yinh) แม่น้ำเบนไฮ เป็นแม่น้ำสำคัญอีกสายหนึ่ง เดิมใช้เป็นเส้นแบ่งเขตแดนระหว่างเวียดนามเหนือ กับเวียดนามใต้ ที่เส้นขนานที่ 17 องศาเหนือ

เมืองโฮจิมินห์ (Ho Chi Minh City) เมืองโฮจิมินห์ตั้งอยู่บริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขงแต่เดิมมีชื่อว่า “ไซ่ง่อน” มีพื้นที่ทั้งหมด 2,095.29 ตารางกิโลเมตร และจำนวนประชากร 5,891,100 คนสำรวจในปี พ.ศ. 2548 เป็นเมืองที่มีความสำคัญที่สุดรองจากเมืองฮานอย ที่นี่ไม่ใช่เป็นเมืองที่มีความสำคัญทางด้านการค้าเพียงอย่างเดียว หากแต่ยังเป็นเมืองที่มีความสำคัญทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยวอีกด้วย เมืองนี้เต็มไปด้วย แม่น้ำ ลำคลอง แม่น้ำที่กว้างที่สุดคือแม่น้ำไซ่ง่อน โดยท่าเรือไซ่ง่อนสร้างขึ้น ในปี พ.ศ. 2305 สามารถรับได้ถึง 30,000 ตัน สภาพอากาศโดยทั่วไปเป็นแบบร้อนชื้น อุณหภูมิระหว่างเดือน พฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน และหนาวช่วงเดือนธันวาคม ถึงเมษายน อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 27 องศาเซลเซียส เดือนที่ร้อนที่สุด คือเมษายน และหนาวสุดในเดือนธันวาคมตลอดทั้งเดือนอากาศจะอบอุ่นสบาย

2.1.3 ประเทศกัมพูชา

ประเทศกัมพูชาตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของแหลมอินโดจีน มีพื้นที่ประมาณ 181,000 ตารางกิโลเมตร ความกว้างจากเหนือจดใต้ประมาณ 450 กิโลเมตร และจากตะวันออกไปถึงตะวันตกประมาณ 560 กิโลเมตร มีรูปร่างคล้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยมีศูนย์กลางของประเทศอยู่ใกล้กับจังหวัดกัมปงทม พื้นที่ทางตอนเหนือกว้างแล้วค่อย ๆ สอดลงมาทางตอนใต้ มีความสัมพันธ์ที่ได้สัดส่วนของพรมแดน โดยรอบทั้งสี่ด้านพรมแดน และเส้นเขตแดนของประเทศกัมพูชา ส่วนใหญ่กำหนดขึ้นโดยฝรั่งเศส มีอาณาเขตติดต่อกับประเทศข้างเคียง อยู่สามประเทศคือ ไทย ลาว และเวียดนาม [3]

ทิศเหนือ ติดต่อกับประเทศไทยในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ และอุบลราชธานี และติดต่อกับประเทศลาว ในแขวงอัตตะปือ และแขวงจำปาศักดิ์

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออก ติดต่อกับประเทศเวียดนาม ในเขตจังหวัดเป่ญดาร์ลัค และกวางด๊ก

ทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศใต้ ติดต่อกับประเทศเวียดนามเขตจังหวัดฟุกลอง บินห์ลอง เทนินห์ ฟุกทุย เคียนเทือง เคียนฟง อันเกียง เคียนเกียง และอ่าวไทย

ทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศตะวันตก ติดต่อกับประเทศไทยในเขตจังหวัดตราด จันทบุรี และปราจีนบุรี

เส้นเขตแดนโดยรอบประเทศมีความยาวประมาณ 2,600 กิโลเมตร ติดต่อกับประเทศไทยประมาณ 930 กิโลเมตร ประเทศลาวประมาณ 400 กิโลเมตร ประเทศเวียดนามประมาณ 1,030 กิโลเมตรและอ่าวไทย ประมาณ 450 กิโลเมตร

ลักษณะภูมิประเทศ โดยทั่วไปมีทั้งที่ราบลุ่ม ที่ราบสูง และภูเขา พื้นที่ภูมิประเทศมีลักษณะคล้ายอ่างเก็บน้ำ กล่าวคือ พื้นที่ตอนกลางของประเทศเป็นที่ราบลุ่ม ระหว่างแม่น้ำโขงกับแม่น้ำบาสลัก (Bassac) และมีทะเลสาบขนาดใหญ่ ที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติ ส่วนรอบๆ ประเทศมีเทือกเขาสลับซับซ้อน ติดต่อกันเป็นแนวยาวสูงประมาณ 1,400 เมตร อยู่ติดกับประเทศไทย ตั้งแต่จังหวัดจันทบุรีทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ตลอดไปทางด้านทิศเหนือ ส่วนภูเขาที่เป็นหย่อมๆ มีอยู่บริเวณเกาะกง กำปงโสม และกำปงสะปือ ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศ

แม่น้ำลำธารและทะเลสาบ กัมพูชาเป็นประเทศที่อุดมไปด้วยแม่น้ำลำธาร ห้วยหนอง คลองบึง และมีทะเลสาบใหญ่ที่สุดในเอเชียอาคเนย์ บริเวณลุ่มน้ำสำคัญ ๆ มีอยู่สามแห่งด้วยกันคือแม่น้ำโขง ทะเลสาบและแม่น้ำทะเลสาบ ติดต่อกับแม่น้ำบาสลัก (Bassac) กับแม่น้ำทางฝั่งทะเล

- แม่น้ำโขงมีต้นน้ำจากประเทศทิเบต ไหลผ่านประเทศจีน พม่า ไทย ลาว เข้าสู่เขตแดนกัมพูชาที่หมู่บ้านอินนัง ทางภาคเหนือของกัมพูชา แล้วไหลผ่านจังหวัดสตึงแตรง กระเจอะ กัมปงจาม และพนมเปญ และไหลเข้าเขตแดนเวียดนามที่หมู่บ้านรินฮือ แม่น้ำโขงมีความยาวทั้งหมด ประมาณ 4,500 กิโลเมตร ในส่วนที่ไหลผ่านกัมพูชามีความยาวประมาณ 500 กิโลเมตร กว้างประมาณ 1-2 กิโลเมตร ความลึกเป็นไปตามฤดูกาล ในฤดูน้ำบางตอนลึกถึง 30 เมตร น้ำในแม่น้ำโขงจะ ไหลเชี่ยวในฤดูน้ำ ลักษณะแม่น้ำโขงที่ไหลผ่านกัมพูชาแบ่งออกได้เป็นสามตอนคือ ช่วงที่ไหลผ่านระหว่างหมู่บ้านวินนังมาจนถึงจังหวัดกระเจอะ แม่น้ำโขงตอนนี้อยู่ในลักษณะเป็นตอนๆ เช่น แซมบอดทางเหนือจังหวัดกระเจอะประมาณ 15 กิโลเมตร กระแสน้ำไหลเชี่ยวมากเป็นระยะทาง 12 กิโลเมตร บางจุดกระแสน้ำไหลเชี่ยวมากประมาณ 60 กิโลเมตร และยังมีเกาะแก่งอยู่ทั่วไปเป็นอุปสรรคต่อการเดินเรือ ในช่วงนี้มี

ลำน้ำเสสาน และลำน้ำเสรปกไหลมาบรรจบแม่น้ำโขงที่ จังหวัดสตึงตรงด้วย ช่วงที่ไหลผ่านจังหวัด กระเจ็งถึงพนมเปญ มีความยาวประมาณ 200 กิโลเมตร มีเกาะแก่งและเนินทรายใต้น้ำอยู่เป็นบาง แห่ง กระแสน้ำไม่เชี่ยว สามารถใช้เดินเรือได้ทุกฤดูกาล แม่น้ำโขงในช่วงต่อจากพนมเปญ ไหลแยก ออกเป็นสี่สาย เรียกว่า จตุรมุข คือ

- สายที่ 1 คือ แม่น้ำโขงเดิม
- สายที่ 2 คือ แม่น้ำโขงที่ไหลไปลงทะเลทางด้านทะเลจีนตอนใต้
- สายที่ 3 คือ แม่น้ำบาสัค
- สายที่ 4 คือ แม่น้ำที่ไหลจากทะเลสาบ เรียกว่า แม่น้ำทะเลสาบ

แม่น้ำโขงนอกจากให้ประโยชน์แก่ประเทศกัมพูชาในด้านเป็นเส้นทางคมนาคมทางน้ำที่สำคัญแล้ว ยังอำนวยประโยชน์ในด้านการกสิกรรมและการประมงด้วย เนื่องจากในฤดูน้ำหลาก น้ำในแม่น้ำโขง ได้ท่วมท้นไปตามพื้นที่ต่างๆ เมื่อน้ำลดก็ได้ทิ้งปุ๋ยอันโอชะต่อพืชไว้ และในขณะเดียวกันก็มีปลาชุกชุมอยู่ตามบึงต่างๆ และในแม่น้ำโขงเอง

- แม่น้ำโตนเลสาป (Tonle Sap) เป็นแม่น้ำที่เชื่อมระหว่างแม่น้ำโขงกับโตนเลสาป มีความยาวประมาณ 130 กิโลเมตร กว้างประมาณ 500 เมตร ในฤดูน้ำหลาก น้ำในแม่น้ำโขงจะไหลผ่านแม่น้ำสายนี้ลงสู่ทะเลสาป

- แม่น้ำบาสัค (Bassac) เป็นแม่น้ำสายเดียวกับแม่น้ำโตนเลสาป ต่อจากแม่น้ำทะเลสาบที่หน้าพระราชวังกรุงพนมเปญ แล้วไหลไปยังประเทศเวียดนามที่บ้านบิन्हดี แล้วไหลผ่านเขตประเทศเวียดนามลงสู่ทะเลจีนใต้ แม่น้ำสายนี้แคบกว่า แม่น้ำทะเลสาบ มีความยาวประมาณ 80 กิโลเมตร ใช้ในการเดินเรือได้ตลอดปี

- ทะเลสาบ นับว่าเป็นทะเลสาบน้ำจืดที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และนับว่าเป็นอ่างเก็บน้ำตามธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดของประเทศกัมพูชา ตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของประเทศ มีทิวเขาที่เป็นแหล่งกำเนิดของลำน้ำสายต่าง ๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลสาบโดยรอบ ในฤดูแล้ง ทะเลสาบจะมีความยาว 150 กิโลเมตร ตอนกว้างที่สุด 32 กิโลเมตร มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 3,000 ตารางกิโลเมตร ในฤดูน้ำหลากเต็มทีประมาณเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ทะเลสาบจะมีพื้นที่ใหญ่กว่า ในฤดูแล้งประมาณสามเท่าคือ ประมาณ 10,000 ตารางกิโลเมตร บริเวณน้ำท่วมจึงอยู่ระหว่างถนนรอบทะเลสาบ ในด้านความลึก ฤดูน้ำจะลึกประมาณ 12-14 เมตร ในฤดูแล้ง น้ำที่ตื้นสุดประมาณ 0.80 เมตร ถึง 2.00 เมตร ลักษณะพื้นที่ตามบริเวณชายฝั่งจะเป็นดินตะกอน บริเวณที่ดอนเป็นที่โล่งแจ้ง ตามขอบทะเลสาบเป็นป่าละเมาะและป่าน้ำท่วม

ทะเลสาบของประเทศกัมพูชามีประโยชน์ต่อการกสิกรรม การเดินเรือ และการประมงในประเทศเป็นอย่างมาก ในฤดูฝนสามารถใช้เดินเรือขนาดต่างๆ ได้ แต่ในฤดูแล้งจะใช้เดินเรือได้เฉพาะเรือขนาดเล็กเท่านั้น ในฤดูน้ำหลาก พื้นที่ป่าจะถูกน้ำท่วม เมื่อน้ำลดก็จะทิ้งปุ๋ยอันเป็น ประโยชน์ต่อพืช ทะเลสาบอุดมไปด้วยปลาน้ำจืดนานาชนิด จนได้ชื่อว่าเป็นแหล่งปลาน้ำจืดที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

2.1.4 ประเทศอินโดนีเซีย

ประเทศอินโดนีเซียอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นประเทศที่มีหมู่เกาะมากที่สุด และใหญ่ที่สุดในโลก ประกอบด้วยเกาะใหญ่ๆ ห้าเกาะ และหมู่เกาะเล็กๆ อีกประมาณ 30 หมู่เกาะ รวมแล้วมีอยู่ 13,677 เกาะ เป็นเกาะที่มีคนอยู่อาศัยประมาณ 6,000 เกาะ รูปลักษณะหมู่เกาะจะวางตัวยาวไปตามแนวเส้นศูนย์สูตร คล้ายรูปพระจันทร์ครึ่งซีกหงาย คำว่าอินโดเนเซีย มาจากคำในภาษากรีกสองคำคือ อินโดซ หมายถึง อินเดียตะวันออกเฉียง และนีซ หมายถึง เกาะ จึงมีความหมายว่า หมู่เกาะอินเดียตะวันออกเฉียง หมู่เกาะอินโดนีเซีย อยู่ระหว่างมหาสมุทรอินเดียกับมหาสมุทรแปซิฟิก จึงเป็นเสมือนทางเชื่อมระหว่างสองมหาสมุทร และสะพานเชื่อมระหว่างสองทวีปคือ ทวีปเอเชีย และทวีปออสเตรเลีย [3]

อินโดนีเซียมีพื้นที่ประมาณ 2,000,000 ตารางกิโลเมตร มีพื้นน้ำใหญ่เป็นสี่เท่าของพื้นที่แผ่นดินอาณาเขตจากตะวันออกไปตะวันตก ยาวประมาณ 5,100 กิโลเมตร จากเหนือจรดใต้ยาวประมาณ 1,800 กิโลเมตร เกาะใหญ่ทั้งห้าเกาะ ประกอบด้วย เกาะสุมาตรา มีพื้นที่ประมาณ 473,600 ตารางกิโลเมตร เกาะกาลิมันตัน มีพื้นที่ประมาณ 539,500 ตารางกิโลเมตร (เฉพาะดินแดนของอินโดนีเซีย ซึ่งประมาณสองในสามของพื้นที่เกาะบอร์เนียวทั้งหมด) เกาะสุลาเวสี มีพื้นที่ประมาณ 189,200 ตารางกิโลเมตร เกาะชวา มีพื้นที่ประมาณ 132,200 ตารางกิโลเมตร และเกาะอิเรียนจาฮา (อิเรียนตะวันตก) มีพื้นที่ประมาณ 422,000 ตารางกิโลเมตร หมู่เกาะอินโดนีเซีย แบ่งตามสภาพภูมิศาสตร์ ออกได้เป็นสี่ส่วนคือ

- หมู่เกาะซุนดาใหญ่ ประกอบด้วย เกาะสุมาตรา เกาะชวา กาลิมันตัน และสุลาเวสี
- หมู่เกาะซุนดาน้อย รวมเกาะต่างๆ จากบาห์ลีไปทางตะวันออกถึงติมอร์
- หมู่เกาะโมลุกกะ (มาลุก) ประกอบด้วยหมู่เกาะที่อยู่ระหว่างเกาะอิเรียนจาฮาถึงเกาะสุลาเวสี
- หมู่เกาะอิเรียนจาฮา

ประเทศอินโดนีเซียมีอาณาเขตติดต่อกับประเทศต่างๆ ดังนี้

ทิศเหนือของเกาะกาลิมันตัน ติดต่อกับรัฐซาราวักและรัฐซาบะฮ์ของมาเลเซียโดยมีต้นเขาเป็นเส้นกั้นพรมแดน

ทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะอิเรียนจายา ติดต่อกับน่านน้ำของประเทศฟิลิปปินส์

ทิศตะวันออก ติดต่อกับประเทศปาปัวนิวกินี

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ติดต่อกับน่านน้ำของประเทศมาเลเซีย โดยมีช่องแคบมะละกาเป็นพรมแดนระหว่างเกาะสุมาตรากับประเทศมาเลเซีย

ลักษณะภูมิประเทศของหมู่เกาะอินโดนีเซีย สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้สามส่วนคือ

ส่วนที่ 1 พื้นที่บริเวณไหล่ทวีปซุนดา ได้แก่บริเวณเกาะชวา เกาะสุมาตรา และเกาะกาลิมันตันกับร่องน้ำระหว่างเกาะต่างๆ เหล่านี้กับฝั่งทะเลของประเทศมาเลเซีย และอินโดจีน มีระดับน้ำลึกไม่เกิน 720 ฟุต

ส่วนที่ 2 พื้นที่บริเวณไหล่ทวีปซาลูคือเกาะอิเรียนจายา และเกาะอารู มีอาณาเขตจากฝั่งทะเลออสเตรเลียทางเหนือ ระดับน้ำลึกไม่เกิน 700 ฟุต

ส่วนที่ 3 บริเวณพื้นที่ระหว่างบริเวณไหล่ทวีปซุนดา และไหล่ทวีปซาลู ได้แก่ บริเวณหมู่เกาะนุซาเตงการา มาลุกู สุลาเวสี มีความลึกของระดับน้ำถึง 15,000 ฟุต

ภูเขาที่สำคัญๆ มีอยู่ประมาณ 100 ลูก จากจำนวนประมาณ 400 ลูก ภูเขาที่สูงที่สุดตามเกาะต่างๆ มีดังนี้

- ภูเขาเกรินยี อยู่บนเกาะสุมาตรา สูง 12,460 ฟุต
- ภูเขาเซมารู อยู่บนเกาะชวา สูง 12,040 ฟุต
- ภูเขาเรนโตคอมโบรา อยู่บนเกาะสุลาเวสี สูง 11,300 ฟุต
- ภูเขาปุมจักชวา อยู่บนเกาะอิเรียนจายา สูง 16,000 ฟุต

แม่น้ำและทะเลสาบเนื่องจากหมู่เกาะอินโดนีเซีย อยู่ในเขตร้อนจึงมีฝนตกชุกตลอดปี และพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขา จึงทำให้เกิดแม่น้ำ และทะเลสาบอยู่บนเกาะต่าง ๆ มากมาย แม่น้ำและทะเลสาบที่สำคัญได้แก่

บนเกาะสุมาตรา มีแม่น้ำมูลิ แม่น้ำบาดังฮารี และแม่น้ำกัมปา

บนเกาะกาลิมันตัน มีแม่น้ำดาพัลส์ แม่น้ำมาริตีโต แม่น้ำมหารม และแม่น้ำงางัง

บนเกาะอิเรียนจายา มีแม่น้ำเมมเปอราโม และแม่น้ำดักัล

บนเกาะชวา มีแม่น้ำเบนกาวัน โซโล แม่น้ำซิดาวัม และแม่น้ำบราตัส

บนเกาะสุมาตรา มีทะเลสาบปโตมา ทะเลสาบมาบินิจอ และทะเลสาบซิงการัก

บนเกาะสุลาเวสี มีทะเลสาบเทมบิ ทะเลสาบโทวูติ ทะเลสาบลิเคนเรว ทะเลสาบปูโซ
ทะเลสาบลิมลิมโบโต และทะเลสาบตันตาโน

บนเกาะอิเรียนจายา มีทะเลสาบพิเนีย และทะเลสาบเซนตานี

บันดุง (Bandung) เป็นเมืองเอกของจังหวัดชวาตะวันตกในประเทศอินโดนีเซีย นับเป็นเมืองที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับ 4 ของประเทศ อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 768 เมตร โดยปกติจึงมีสภาพอากาศเย็นกว่าเมืองอื่นๆ ส่วนใหญ่ของอินโดนีเซีย เมืองนี้อยู่ในเขตแม่น้ำ รายล้อมด้วยภูเขาไฟ มีลักษณะทางภูมิประเทศที่มีระบบป้องกันตัวโดยธรรมชาติเป็นอย่างดี อันเป็นเหตุผลหลักที่ครั้งหนึ่งได้มีการย้ายเมืองออกจากปัตตาเวียมายังบันดุง

2.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากภูมิประเทศที่มีความแตกต่างกัน ฤดูกาลของแต่ละประเทศจึงมีความแตกต่างกัน เราจึงควรศึกษาลักษณะภูมิอากาศในแต่ละประเทศ เพื่อช่วยให้เข้าใจในแต่ละช่วงฤดูของประเทศที่ได้ทำการศึกษา

2.2.1 ประเทศไทย

มีภูมิอากาศแบบเขตร้อน พื้นที่ตั้งอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดจากมหาสมุทรอินเดีย ทำให้เกิดฤดูฝน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดจากทะเลจีนใต้ ทำให้เกิดฤดูหนาว มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 18-34 องศาเซลเซียสโดยภาพรวมแล้ว ประเทศไทยมี 3 ฤดู คือ [4]

ฤดูร้อน มีอากาศร้อนอบอ้าวและแห้งแล้งโดยทั่วไป ปริมาณฝนน้อย โดยจะร้อนมากที่สุดประมาณเดือนเมษายน อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28-32 องศาเซลเซียส แต่ในภาคใต้อุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 26-30 องศาเซลเซียส

ฤดูฝน มีพายุลมแรง ฝนตกชุกเป็นบริเวณกว้าง โดยตกหนักถึงหนักมากในบางครั้ง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั่วประเทศประมาณ 1,100-1,500 มิลลิเมตรต่อปี โดยบริเวณที่ฝนตกมากที่สุดคือภาคใต้และริมชายฝั่งของภาคตะวันออก ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 2,000 มิลลิเมตรต่อปี และในบางท้องที่สูงถึง

4,000 มิลลิเมตรต่อปี บริเวณที่มีฝนตกน้อยคือบริเวณเทือกเขาสูงตอนกลางของประเทศ ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่ำกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี

ฤดูหนาว มีอากาศเย็น และหนาวถึงหนาวจัดในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณภูเขาสูง และยอดดอยต่างๆ มีอุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนมกราคมอยู่ระหว่าง 26-28 องศาเซลเซียส

อย่างไรก็ตาม ฤดูกาลในแต่ละภูมิภาคของประเทศนั้นจะแตกต่างกันเล็กน้อย เกิดจากปัจจัยด้าน อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความห่างไกลจากทะเลเป็นสำคัญ โดยภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง มีภูมิอากาศแบบสะวันนา คือ มีช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งสลับกัน ชัดเจน ส่วนภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงใต้มีภูมิอากาศแบบป่าฝนเมืองร้อน คือ ฝนตกเกือบตลอดทั้งปี

ฤดูกาลตามแต่ละภูมิภาคแบ่งได้ดังนี้

- ภาคเหนือ มี 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน คือช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน ฤดูฝน คือช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม และฤดูหนาว คือช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มี 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน คือช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ฤดูฝน คือช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม และฤดูหนาว คือช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม
- ภาคกลาง มี 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน คือช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ฤดูฝน คือช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม และฤดูหนาว คือช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม
- ภาคใต้ มีเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูฝน หรือฤดูมรสุม และฤดูร้อน หรือฤดูท่องเที่ยว โดยฝั่งตะวันออกเฉียงใต้หรือฝั่งอ่าวไทย ฤดูร้อนจะอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม-กันยายน ส่วนฝั่งตะวันตกหรือฝั่งทะเลอันดามัน ฤดูร้อนจะอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน

2.2.2 ประเทศเวียดนาม

เนื่องจากแผ่นดินของเวียดนามมีความยาวมาก ทำให้ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยอาจแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ [5]

- ภาคเหนือ ภูมิประเทศเวียดนามประกอบด้วยภูเขาสูงมากมาย โดยเฉพาะเทือกเขาฟานสิปัน สูงถึง 3,143 เมตร สูงที่สุดในอินโดจีน มีแม่น้ำสายสำคัญคือ แม่น้ำกุง ซึ่งไหลไปบรรจบกับแม่น้ำแดง เป็นดินดอนสามเหลี่ยมที่อุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การเพาะปลูกและยังเป็นที่ตั้งของเมืองฮานอยอันซึ่งเป็นเมืองหลวงของเวียดนาม มีที่ราบลุ่ม Cao Bang และ Vinh Yen ตลอดจนเกาะแก่งกว่า 3,000 เกาะ

อ่าวสาหลง และเนื่องจากพื้นที่บางส่วนอยู่ในเขตอากาศหนาว ซึ่งได้รับอิทธิพลกระแสลมแรงพัดจากทั่วโลก ทำให้มีสภาพภูมิอากาศหนาวเย็นภูมิอากาศในเขตภาคเหนือแบ่งออกได้เป็น 4 ฤดู

1. ฤดูใบไม้ผลิ (มีนาคม-เมษายน) มีฝนตกปรอยๆ และความชื้นสูง อุณหภูมิประมาณ 17 องศา – 23 องศา

2. ฤดูร้อน (พฤษภาคม-สิงหาคม) อากาศร้อนและมีฝน อุณหภูมิประมาณ 30 – 39 องศา เดือนที่ร้อนที่สุดคือเดือนมิถุนายน

3. ฤดูใบไม้ร่วง (กันยายน-พฤศจิกายน) อุณหภูมิ 23 – 28 องศา

4. ฤดูหนาว (ธันวาคม-กุมภาพันธ์) อากาศจะหนาวเย็นที่สุดในรอบปี คือ ประมาณ 7 – 20 องศา แต่ในบางครั้งอาจลดลงถึง 0 องศา เดือนที่อากาศหนาวที่สุดคือ มกราคม

- ภาคกลางของเวียดนามยังมีชนกลุ่มน้อยอาศัยอยู่มากมาย พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงซึ่งเต็มไปด้วยหินภูเขาไฟ หาดทราย เนินทราย และทะเลสาบ ภูมิอากาศในเขตภาคกลาง 2 ฤดู

1. ฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) เดือนที่อากาศร้อนที่สุดคือ มิถุนายน-กรกฎาคม อุณหภูมิเกือบ 40 องศา

2. ฤดูแล้ง (ตุลาคม-เมษายน) เดือนที่อากาศเย็นที่สุด คือ มกราคม อุณหภูมิเกือบ 20 องศา

- ภาคใต้ แม้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของเวียดนามเป็นที่ราบสูง แต่ก็มีที่ราบลุ่มแม่น้ำโขง หรือชื่อที่รู้จักคือ กู๋ลอง (Cuu Long) อันเป็นพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ เป็นแหล่งเพาะปลูกที่ใหญ่ที่สุดของประเทศเวียดนาม และเป็นที่ตั้งของกรุงโฮจิมินห์ซิตี้ หรือ ไซ่ง่อน ภูมิอากาศค่อนข้างร้อน อุณหภูมิประมาณ 27 องศา มี 2 ฤดู คือ

1. ฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน) เดือนที่ร้อนที่สุดคือ เดือนเมษายน อุณหภูมิประมาณ 39 องศา

2. ฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน-เมษายน) เดือนที่อากาศเย็นที่สุดคือ มกราคม อุณหภูมิประมาณ 26 องศา

2.2.3 ประเทศกัมพูชา

มีอากาศมรสุมเขตร้อนเป็นแบบร้อนชื้นแถบมรสุม โดยแบ่งฤดูกาลได้ดังนี้ [6]

ฤดูฝน เริ่มจากเดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน

ฤดูแล้งระหว่างเดือนธันวาคม – เมษายน อุณหภูมิโดยเฉลี่ย 20 - 36 องศาเซลเซียส โดยที่เดือนเมษายนมีอุณหภูมิสูงที่สุด เดือนมกราคมมีอุณหภูมิต่ำที่สุด และเดือนตุลาคมมีฝนตกชุกที่สุด

2.2.4 ประเทศอินโดนีเซีย

ประเทศอินโดนีเซียตั้งอยู่บริเวณศูนย์สูตร อากาศจะร้อนและชุ่มชื้นตลอดปี เพราะอยู่แถบศูนย์สูตร และได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ประกอบไปด้วย 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน ระหว่างเดือนมิถุนายน – กันยายน และฤดูฝนระหว่างเดือนธันวาคม – มีนาคม ส่วนเดือนอื่นๆ อาจมีแดดจัดสลับกับพายุฝนเป็นครั้งคราว และเนื่องจากมีลักษณะที่เป็นเกาะ จึงทำให้อุณหภูมิของประเทศไม่รุนแรงเพราะได้รับอิทธิพลจากลมทะเล [7]

2.3 การจัดทำและการใช้ดัชนีคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ดัชนีคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental index) คือตัวชี้สถานการณ์สิ่งแวดล้อมด้านใดด้านหนึ่งเป็นปริมาณโดยไม่แยกตัวแปร หรือพารามิเตอร์ ซึ่งใช้ในการติดตามเปรียบเทียบสภาวะแวดล้อม และแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง การพัฒนาแนวคิดการสร้างดัชนีสิ่งแวดล้อม ให้เป็นตัวแทนหรือตัวชี้สถานการณ์สิ่งแวดล้อมเริ่มมากกว่า 40 ปี ซึ่งได้มีบันทึกครั้งแรกโดยสมาพันธ์สัตว์ป่าแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (U.S. National Wildlife Federation) ในปี พ.ศ. 2514 โดยดัชนีสิ่งแวดล้อมได้มาจากการตัดทอนข้อมูลจำนวนมากลงมาให้อยู่ในรูปที่ง่ายที่สุด การตัดทอนทำให้ข้อมูลบางส่วนสูญหายไปบ้าง แต่จะต้องไม่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนไปจึงจะเป็นดัชนีที่ดี หรือ ดัชนีคืออัตราส่วนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่ามาตรฐาน บทบาทที่สำคัญของดัชนีคือ [8]

1. Environmental monitoring เพราะข้อมูลการติดตามตรวจสอบสภาพแวดล้อมต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมาก ทั้งตัวแปรทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนั้นการใช้ดัชนีจะทำให้เข้าใจง่ายขึ้น มีผลทำให้ปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. Tools ใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบสิ่งแวดล้อม เพื่อการวางแผน หรือกำหนดนโยบายในการจัดการ บริหารสิ่งแวดล้อม เช่น นำค่าดัชนีมาใช้กำหนดระดับคุณภาพสิ่งแวดล้อม หรือเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเลือกทางเลือกเกี่ยวกับแผน และนโยบายการพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้

3. Resource allocation ใช้เป็นข้อมูลเพื่อการจัดสรรงบประมาณในด้านเงินลงทุน และการจัดลำดับความสำคัญ

4. Ranking of location หาดำแหน่งที่จัดการ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา มีดัชนีต่างกันในทุกๆ ตำแหน่ง และเลือกบริเวณที่มีปัญหามากที่สุด
5. Trend analysis ใช้ดูการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ง่ายขึ้น
6. Public information ทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ทางด้านสิ่งแวดล้อม สามารถเข้าใจถึงคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น เพราะการบอกคุณภาพสิ่งแวดล้อมว่าดีหรือไม่ดี แสดงด้วยการใช้สี หรือช่วงตัวเลขที่เข้าใจได้ง่าย
7. Scientific research มีประโยชน์ในด้านการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ลดข้อมูลจำนวนมากๆ ให้มองเห็นได้ง่าย

2.3.1 โครงสร้างของดัชนีสิ่งแวดล้อม

ดัชนีสิ่งแวดล้อมแบ่งออกเป็น increasing scale และ decreasing scale [8]

Increasing scale คือดัชนีสิ่งแวดล้อมที่แสดงค่าสูง หมายถึงมลสารสูง หรือสิ่งแวดล้อมไม่ดี มักใช้กับดัชนีคุณภาพอากาศ หรือ ดัชนีมลภาวะสิ่งแวดล้อม (Environmental pollution indices)

$$I = 0 \quad \text{คุณภาพสิ่งแวดล้อมดี}$$

$$I = 100 \quad \text{คุณภาพสิ่งแวดล้อมไม่ดี}$$

Decreasing scale คือดัชนีสิ่งแวดล้อมที่แสดงค่าต่ำ หมายถึงมลสารสูง หรือสิ่งแวดล้อมไม่ดี มักใช้กับ ดัชนีคุณภาพน้ำ หรือ ดัชนีคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental quality indices)

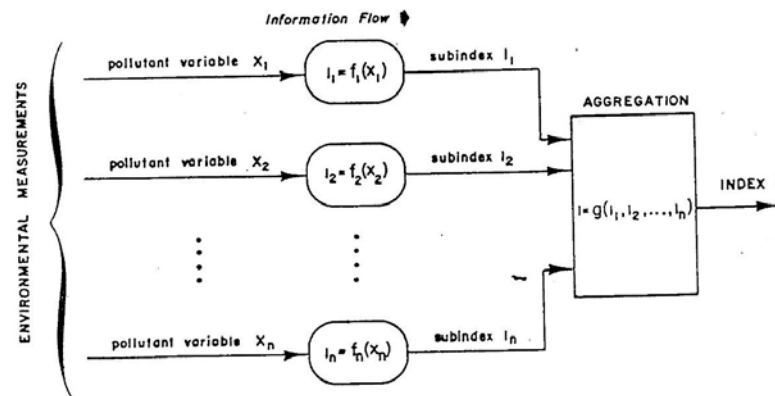
$$I = 0 \quad \text{คุณภาพสิ่งแวดล้อมไม่ดี}$$

$$I = 100 \quad \text{คุณภาพสิ่งแวดล้อมดี}$$

วิธีการทำดัชนี (Index) จะประกอบไปด้วยดัชนีย่อย (Subindex หรือ Environmental Indicator) และ Index ทำได้โดยรวม Subindices แต่ละตัวเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.2 และสมการที่ (2.1)

$$I = fi(Xi) \quad (2.1)$$

เมื่อ Xi = ตัวแปรของมลสารแต่ละตัว, Ii = subindex



รูปที่ 2.2 กระบวนการรวมดัชนีย่อยเพื่อทำเป็นค่าดัชนี [8]

2.3.2 การรวมดัชนีย่อย (Aggregation of subindices)

การรวมดัชนีย่อยๆ เข้าด้วยกัน จะทำให้ข้อมูลบางส่วนขาดหายไป หรือไม่สมบูรณ์ได้ ดังนั้นการทราบถึงข้อจำกัดของการรวมดัชนีย่อยเข้าด้วยกัน จะทำให้ทราบว่าการทำงานของคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วยการรวมดัชนีย่อยเข้าด้วยกัน ด้วยสมการต่างๆ จะถูกต้องมากหรือน้อย รูปแบบการรวมดัชนีย่อยมีดังนี้ [8]

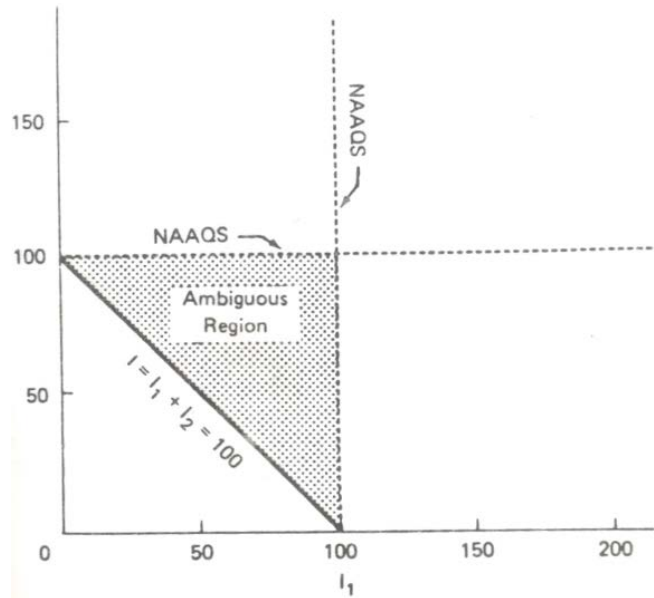
2.3.2.1 Additive forms

Additive forms เป็นวิธีการรวมดัชนีที่ง่ายที่สุด หรือเรียกว่าการรวมกันของดัชนีย่อยโดยไม่มีการถ่วงน้ำหนักดังสมการที่ (2.2)

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (2.2)$$

เมื่อ I_i = Subindex for pollutant variable i , n = number of pollutant variable

ตัวอย่างเช่น Index (I) เกิดจากการรวม Subindex (I_i) 2 ตัวเข้าด้วยกัน ดังนั้น $I = I_1 + I_2$ ถ้า $I_1 = 0$, $I_2 = 0$ แสดงว่า ไม่มีการปนเปื้อนของมลสาร X_1 และ X_2 หรือ $I_2 \geq 100$ แสดงว่า ความเข้มข้นเท่ากับหรือเกินมาตรฐาน (NAAQS= National Ambient Air Quality Standard) ดังรูปที่ 2.3



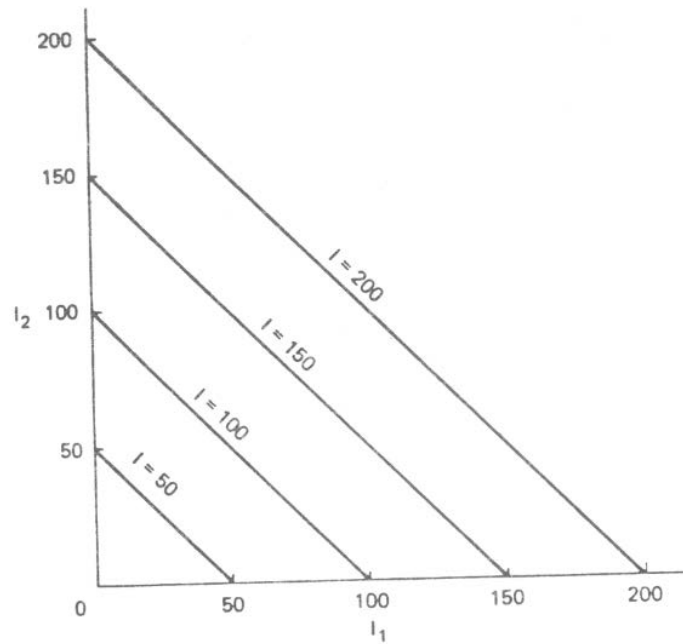
รูปที่ 2.3 การรวมดัชนีย่อยแบบ Additive form [9]

ถ้าผลรวมของดัชนีย่อยรวมกันแล้วได้ค่า $I > 100$ แสดงว่า มลสารในสิ่งแวดล้อมเกินค่ามาตรฐาน เช่น กรณีที่ I_1 หรือ $I_2 \geq 100$ แสดงว่าสภาพแวดล้อมเลวร้าย แต่การรวมดัชนีย่อยดังกล่าวอาจเกิดปัญหาได้ ตัวอย่างเช่น $I_1 = 60$ $I_2 = 70$ ผลรวมของดัชนีย่อยเท่ากับ 130 แสดงว่าสิ่งแวดล้อมไม่ดีแต่เมื่อดูดัชนีย่อยแต่ละตัวพบว่ามีความไม่เกินมาตรฐาน ดังนั้น การรวมดัชนีย่อยด้วยวิธีนี้ ทำให้ทำนายค่าได้เกินจริง เรียกว่า เกิดการคลุมเครือของการทำนายข้อมูล หรือ Ambiguous แสดงในส่วนแรกของรูปที่ 2.3

2.3.2.2 Weighted linear sum

การรวมดัชนีย่อยแบบถ่วงน้ำหนัก มีสมการทั่วไป ดังสมการที่ (2.3) และมีรูปแบบดังรูปที่ 2.4

$$I = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.4 การรวมดัชนีย่อยแบบ Weighted linear sum [9]

จากรูปที่ 2.4 ค่า $I = 100$ แสดงอยู่บนเส้น $I = 200$ (ในกรณี linear sum) ในกรณี Weighted linear sum จะลบส่วนที่เป็น ambiguous region ไปได้ แต่เกิดปัญหาใหม่ขึ้นมาแทน เรียกว่า eclipsing region ขึ้น ซึ่งมีปัญหามากกว่า เพราะเป็นการทำนายได้ต่ำไป เพราะบอกว่าสิ่งแวดล้อมดี แต่จริงๆ แล้วคุณภาพสิ่งแวดล้อมไม่ดี ตัวอย่างเช่น $I_1 = 50$, $I_2 = 110$ ดังนั้น $I = 80$ ซึ่งดัชนีทำนายว่าสิ่งแวดล้อมดี ไม่เกินมาตรฐาน แต่จริงๆ แล้ว มีดัชนีย่อยตัวหนึ่ง (I_2) ที่เกินค่ามาตรฐาน

2.3.2.3 Root sum power

จากปัญหาที่เกิดขึ้นใน 2 กรณีแรก ทำให้มีการคิดสมการที่เป็น nonlinear aggregation เพื่อลดปัญหา ambiguous และ eclipsing ดังสมการ (2.4)

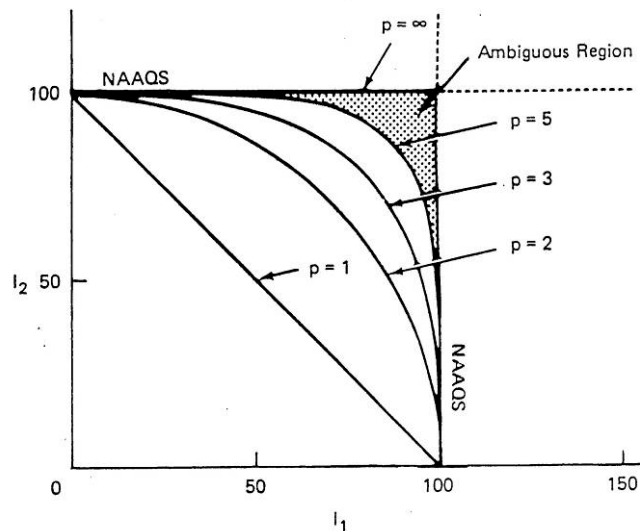
$$I = [\sum_{i=1}^n I_i^p]^{1/p} \quad (2.4)$$

โดย I = Subindex for pollutant variable, i , $p > 1$

ถ้า $p = 2$ จะเรียกว่า root sum square เขียนได้ดังสมการที่ (2.5)

$$I = (I_1^2 + I_2^2)^{1/2} \quad (2.5)$$

เมื่อ plot กราฟ จะได้เส้นโค้งที่มีรัศมีเท่ากับ I ซึ่งจะทำให้เกิด ambiguous น้อยกว่า คือเกิด 21.5% ของรูปสี่เหลี่ยมทั้งหมด ขณะที่การรวมแบบธรรมดา จะเกิด 50% เมื่อค่ายกกำลังสูง ก็จะช่วยลดปัญหาได้มากขึ้นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การรวมดัชนีย่อยแบบ Root sum power [9]

2.4 ดัชนีคุณภาพน้ำ (Water Quality Index)

ดัชนีคุณภาพน้ำ (Water quality index) ใช้เป็นตัวบ่งชี้สถานการณ์ของคุณภาพน้ำ โดยบอกเป็นตัวเลขหรือสัญลักษณ์สี เพื่อใช้ในการติดตามเปรียบเทียบสภาวะแวดล้อม และแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ ดัชนีคุณภาพน้ำมี 4 ประเภท ได้แก่ [8]

- ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (General water quality index)
- ดัชนีตามการใช้ประโยชน์ (Specific use index) เช่น ดัชนีคุณภาพน้ำสำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดัชนีคุณภาพน้ำสำหรับการว่ายน้ำ เป็นต้น
- ดัชนีเพื่อการวางแผน (Planning index) เป็นดัชนีที่ใช้เพื่อการตัดสินใจ เช่น เพื่อตัดสินใจในการก่อสร้างระบบบำบัด
- ดัชนีที่อาศัยสถิติ (Statistical approach) เป็นดัชนีที่อาศัยสถิติมาช่วยในการจัดอันดับมลสาร เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดในแต่ละช่วงเวลา หรือใช้เปรียบเทียบกับสถานที่ต่างๆ หรือเวลาต่างกัน

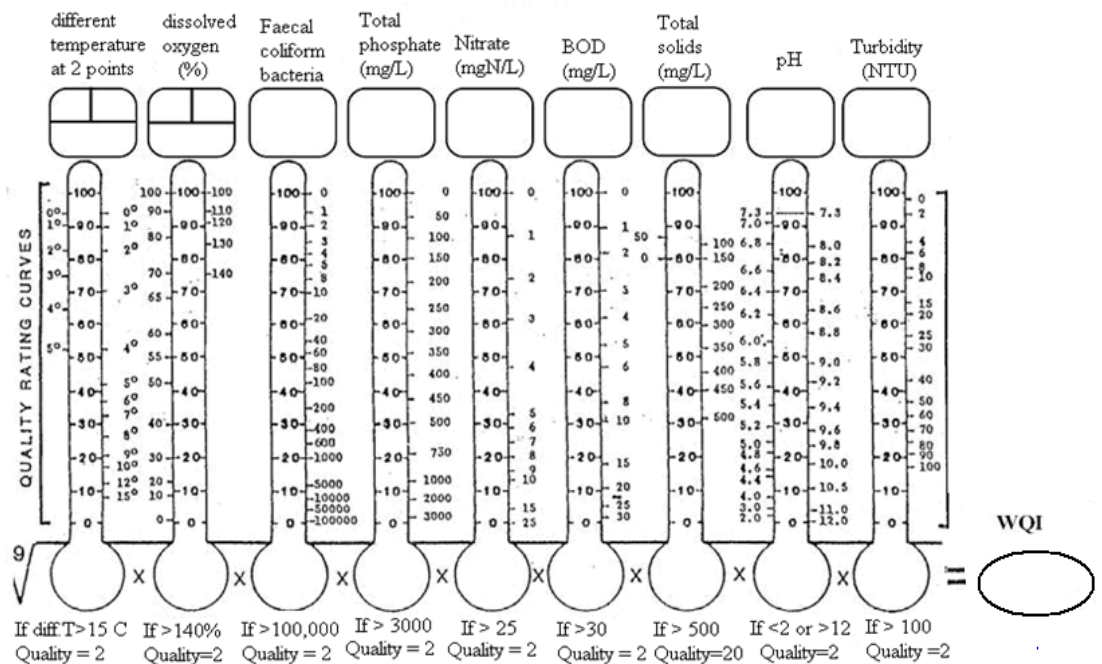
2.4.1 ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศไทย

ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้ดัชนีคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 2 ดัชนีด้วยกัน คือ ดัชนีคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ และดัชนีคุณภาพน้ำของการประปาโดย

2.4.1.1 ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของกรมควบคุมมลพิษ

ดัชนีที่บ่งบอกสภาพของแม่น้ำโดยทั่วไปโดยไม่ได้ระบุโดยตรงว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง มีหน่วยเป็นคะแนนเต็ม 100 คะแนน โดยรวมคะแนนของดัชนีคุณภาพน้ำ 9 ดัชนี คือ อุณหภูมิ (T), ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS), แบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria, FCB), ไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$), ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP), ความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ (Biological Oxygen Demand, BOD) และความขุ่น (Turbidity) โดยมีวิธีการหาค่าดัชนีคุณภาพน้ำโดยทั่วไป [9] ดังสมการที่ 2.6 โดยที่มีการเทียบค่าคะแนนของตัวแปรต่างๆ ดังรูปที่ 2.6

$$\text{WQI} = \sqrt[9]{(\text{Temp})(\text{pH})(\text{DO})(\text{TS})(\text{FCB})(\text{NO}_3 - \text{N})(\text{TP})(\text{BOD})(\text{Turbidity})} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.6 การหาค่าดัชนีย่อยของแต่ละตัวแปร [9]

โดยมีการให้ค่าของผลการคำนวณเป็นเกณฑ์คุณภาพน้ำ 5 ระดับดัง ตารางที่ 2.1 และมีการกำหนดประเภทน้ำผิวดินและการใช้ประโยชน์ของแต่ละประเภท ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำโดยใช้ WQI [9]

ค่าคะแนน WQI	เกณฑ์คุณภาพน้ำ	ประเภทคุณภาพน้ำ
0-30	เสื่อมโทรมมาก	5
31-60	เสื่อมโทรม	4
61-70	พอใช้	3
71-90	ดี	2
91-100	ดีมาก	1

ค่าคะแนน WQI [9]

คะแนนระหว่าง 91-100 หมายถึง คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่มีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ และการอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

คะแนนระหว่าง 71-90 หมายถึง คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี เทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 2 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอนุรักษ์แหล่งน้ำการประมงการว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

คะแนนระหว่าง 61-70 หมายถึง คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้ เทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 3 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรและการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

คะแนนระหว่าง 31-60 หมายถึง คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 4 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอุตสาหกรรมและการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

คะแนนระหว่าง 0-30 หมายถึง คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก เทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 5 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ตารางที่ 2.2 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน [9]

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ 1. การอุปโภคบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน 2. การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน 3. การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ 1. การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน 2. การอนุรักษ์สัตว์น้ำ 3. การประมง 4. การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ 1. การอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน 2. การเกษตร
ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ 1. การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน 2. การอุตสาหกรรม
ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

กรมควบคุมมลพิษได้จัดทำดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปแบบใหม่ในปี พ.ศ 2554 เหตุผลการเปลี่ยนวิธีการประเมินคุณภาพน้ำจากค่า WQI จากคะแนนรวมคุณภาพน้ำ 8 ตัวแปรเป็น ค่าคะแนนรวมของคุณภาพน้ำ 5 ตัวแปร [10] คือ

(1) ค่า WQI เหมาะในการอธิบายภาพรวมของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ รวมทั้งยังใช้เปรียบเทียบระดับคุณภาพน้ำระหว่างแม่น้ำได้ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการมองภาพรวม แต่ไม่เหมาะในการนำมาวิเคราะห์ร่วมกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน เนื่องจาก

1. WQI เดิม มี 3 พารามิเตอร์คือ TP TS และ SS ที่ยังไม่ได้กำหนดในมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ดังนั้นกรณีแหล่งน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก ที่มีความขุ่น สูง และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล เช่นปากน้ำ มีค่า TS SS สูง โดยเป็นความขุ่นที่มาจากธรรมชาติตามฤดูกาล ทำให้ค่า WQI โดยรวม อยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม

ที่มาคะแนนของแต่ละพารามิเตอร์ ทั้ง 8 มาจากผู้เชี่ยวชาญ นักร้อยคน ตอบแบบสอบถาม เช่น ถ้าค่า DO 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะให้คะแนนเท่าไร และนำข้อมูลมา พล็อต กราฟ แล้วสร้างสมการคำนวณค่าคะแนนแต่ละพารามิเตอร์ขึ้นมา จึงเห็นได้ว่า ค่าคะแนนแต่ละพารามิเตอร์ ไม่ได้สัมพันธ์กับค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน

(2) การประเมินคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ว่ามีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี พอใช้ เสื่อมโทรม และเสื่อมโทรมมากในรายงานสถานการณ์แหล่งน้ำผิวดิน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2553 ใช้เทียบกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 3 4 5 ตามลำดับ โดยมี File คัดเกณฑ์คุณภาพน้ำ เป็นเครื่องมือในการประเมินและได้ส่งมอบ File ดังกล่าวให้กับ สสภ.1-16 แล้ว เพื่อให้การประเมินคุณภาพแหล่งน้ำเป็นไปตามหลักการเดียวกัน โดยวิธีการประเมินนี้ มีความไม่สัมพันธ์กับ ค่า WQI ค่อนข้างสูง

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงควรหาวิธีการประเมินคุณภาพน้ำ ที่สัมพันธ์และสามารถใช้วิเคราะห์ร่วมกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินได้ โดยมีวัตถุประสงค์เดียวกันกับ WQI คือ ให้ผู้บริหารและประชาชนซึ่งไม่มีพื้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้เข้าใจสภาพปัญหาคุณภาพน้ำที่เกิดขึ้นและง่ายต่อการมองภาพรวม

การคิดค่าคะแนนรวมของคุณภาพน้ำ 5 ตัวแปร

1. หลักการในการเลือกตัวแปร

- ตัวแปรนั้น ควรมีการกำหนดค่าในมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน
- ตัวแปรนั้น สามารถใช้ในการประเมินประเภทแหล่งน้ำผิวดิน
- ถ้าตัวแปร ไม่สามารถใช้ในการประเมินประเภทแหล่งน้ำผิวดินได้ ตัวแปรนั้น สามารถประเมินสถานการณ์มลพิษทางน้ำได้

ถ้าตัวแปร ไม่สามารถใช้ในการประเมินประเภทแหล่งน้ำผิวดินได้ ตัวแปรนั้น ต้องมีความเสี่ยงหรือมีแนวโน้มที่จะเป็นปัญหามากขึ้น จากหลักการข้างต้น จึงเลือก 5 พารามิเตอร์ดังนี้

- (1) ออกซิเจนละลาย (DO) ใช้ในการประเมินประเภทแหล่งน้ำผิวดิน สามารถบ่งชี้ถึงความเหมาะสมในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำทั่วไป โดยรวมของแหล่งน้ำ มีปัจจัย หลายอย่าง ที่ทำให้มีค่ามากขึ้นหรือน้อยลง ทั้งนี้ น้ำเสียจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ก็เป็นปัจจัยหนึ่ง
- (2) ความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (BOD) ใช้ในการประเมินประเภทแหล่งน้ำผิวดิน สามารถบ่งชี้ถึงความสกปรกของแหล่งน้ำ สาเหตุสำคัญคือน้ำเสียของแหล่งกำเนิดจากชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม
- (3) การปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB) ใช้ในการประเมินประเภทแหล่งน้ำผิวดินสามารถบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มจากธรรมชาติโดยครอบคลุมถึงกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม จากสิ่งขับถ่ายในลำไส้ของสัตว์เลื้อยคลาน ไข่วิเคราะห์ร่วมกับ FCB
- (4) การปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม (FCB) ใช้ในการประเมินประเภทแหล่งน้ำผิวดินสามารถบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม จากสิ่งขับถ่ายในลำไส้ของสัตว์เลื้อยคลาน ที่สำคัญคือ คน และหมู สาเหตุสำคัญคือน้ำเสียจากชุมชน ฟาร์มหมู
- (5) แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) สามารถบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนน้ำเสียจากกิจกรรมมนุษย์ได้แก่ การขับถ่ายปัสสาวะจากการเกษตร อาหารสัตว์น้ำที่เหลือตกค้าง

การคิดคะแนนรวมเป็นไปดังสมการที่ (2.7) และแปรผลค่า WQI ดังตารางที่ 2.3

$$\text{คะแนนรวม} = \text{ค่าเฉลี่ยของคะแนนทั้ง 5 พารามิเตอร์} \quad (2.7)$$

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำโดยใช้ WQI [10]

เกณฑ์คุณภาพน้ำ	คะแนนรวม	เทียบกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภท
ดี	71-100	2
พอใช้	61-70	3
เสื่อมโทรม	31-60	4
เสื่อมโทรมมาก	0-30	5

การคิดคะแนนของแต่ละตัวแปรมีการคิดคะแนนดังตารางที่ 2.4 – 2.8

ตารางที่ 2.4 สมการการคิดคะแนนเทียบกับค่า DO [10]

ค่า DO	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 – 4.0 mg/l	คะแนน = $15.25 * (\text{ค่า DO}) + 0.1667$
4.1 – 6.0 mg/l	คะแนน = $5 * (\text{ค่า DO}) + 41$
6.1 – 8.4 mg/l	คะแนน = $12.083 * (\text{ค่า DO}) - 1.5$
8.5 – 8.9 mg/l	คะแนน = $-78 * (\text{ค่า DO}) + 755.2$
9.0 – 11.2 mg/l	คะแนน = $-13.043 * (\text{ค่า DO}) + 177.09$
11.3 – (≥ 15.3) mg/l	คะแนน = $-7.561 * (\text{ค่า DO}) + 115.68$

ตารางที่ 2.5 สมการการคิดคะแนนเทียบกับค่า BOD [10]

ค่า BOD	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 – 1.5 mg/l	คะแนน = $-19.333(\text{ค่า BOD}) + 100$
1.6 – 2.0 mg/l	คะแนน = $-20(\text{ค่า BOD}) + 101$
2.1 – 4.0 mg/l	คะแนน = $-15(\text{ค่า BOD}) + 91$
4.1 – (≥ 8.8) mg/l	คะแนน = $-6.4583 * (\text{ค่า BOD}) + 56.833$

ตารางที่ 2.6 สมการการคิดคะแนนเทียบกับค่า TCB [10]

ค่า TCB(MPN/100ml)	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 – 5,000	คะแนน = $-0.0058 * (\text{ค่า TCB}) + 100$
5,001 – 20,000	คะแนน = $-0.0007 * (\text{ค่า TCB}) + 74.333$
20,001 – 160,000	คะแนน = $-0.0002 * (\text{ค่า TCB}) + 65.286$
>160,000	คะแนน = $-8E-06 * (\text{ค่า TCB}) + 32.292$

ตารางที่ 2.7 สมการการคิดคะแนนเทียบกับค่า FCB [10]

ค่า FCB(MPN/100ml)	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 – 1,000	คะแนน = $-0.029 * (\text{ค่า FCB}) + 100$
1,001 – 4,000	คะแนน = $-0.0033 * (\text{ค่า FCB}) + 74.333$
4,001 – 90,000	คะแนน = $-0.0003 * (\text{ค่า FCB}) + 62.395$
>90,000	คะแนน = $-1E-05 * (\text{ค่า FCB}) + 32.208$

ตารางที่ 2.8 สมการการคิดคะแนนเทียบกับค่า NH_3 [10]

ค่า NH_3 (mg/l)	สูตรสมการในการคิดคะแนน
0.0 – 0.22	คะแนน = $-131.82 * (\text{ค่า } \text{NH}_3) + 100$
0.23 – 0.50	คะแนน = $-35.714 * (\text{ค่า } \text{NH}_3) + 78.857$
0.51 – 1.83	คะแนน = $-22.556 * (\text{ค่า } \text{NH}_3) + 72.278$
>1.83	คะแนน = $-6.1024 * (\text{ค่า } \text{NH}_3) + 42.167$

เมื่อได้แนวทางการให้คะแนนของค่าความเข้มข้น ทั้ง 5 พารามิเตอร์แล้ว การดำเนินการต่อไปคือนำไปทดลองในการให้คะแนน กับค่าคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้จริง เพื่อให้ได้คะแนนรวม ของจุดตรวจวัด โดยการทดลองยึดแนวทางที่ว่า ค่าคะแนนรวมในแต่ละจุดตรวจวัดของแหล่งน้ำส่วนใหญ่ ต้องเป็นแนวทางเดียวกันกับการประเมินเกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดิน (เทียบกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 2, 3, 4, 5) ที่ใช้ในการเขียนรายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ประจำปี เช่น แม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน มีจุดตรวจวัด 7 จุดตรวจครั้งที่ 1 ปี 51 ผลการประเมินเกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดิน บอกว่า คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ ดี ผลค่าคะแนนรวมแต่ละจุดตรวจวัด พบว่า อยู่ในเกณฑ์ดีร้อยละ 86 ของจุดตรวจวัด แสดงว่า การประเมินเป็นไปในแนวทางเดียวกัน (ใช้ ตัวเลขที่ ร้อยละ 50 ขึ้นไป) ค่าคะแนนรวมที่ได้ในแต่ละจุดตรวจวัด เมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์ แต่ละตัวในจุดตรวจวัดนั้นๆ ต้องมีความสอดคล้องกัน สามารถบอกได้ว่า คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมหรือดี เนื่องจากพารามิเตอร์อะไร แต่เมื่อทำการทดลองหลายๆ ครั้งแล้วผลที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ จึงพิจารณาว่าควรใช้วิธีการพิจารณาแต่ละจุดตรวจวัด ว่ามีคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ ดี พอใช้ เสื่อมโทรม หรือเสื่อมโทรมมาก จากนั้นจึงเทียบกับ ค่าเฉลี่ยคะแนน 5 พารามิเตอร์ ถ้าตรงกัน คะแนนพิเศษ เท่ากับ 0 ถ้าต่างกัน 1 ระดับคะแนนพิเศษเท่ากับ 10 ถ้าต่างกัน 2 ระดับ คะแนนพิเศษเท่ากับ 15 โดยมีเงื่อนไขดังนี้

ตารางที่ 2.9 เงื่อนไขในการเทียบคะแนนเฉลี่ยกับค่าคะแนนพิเศษ [10]

พารามิเตอร์	ข้อกำหนดในการพิจารณาเกณฑ์คุณภาพน้ำ			
DO	> 4.0 mg/l	> 4.0 mg/l	> 2.0 mg/l	> 0.0 mg/l
	ดี	พอใช้	เสื่อมโทรม	เสื่อมโทรมมาก
BOD	< 1.5 mg/l	< 2.0 mg/l	< 4.0 mg/l	> 4.0 mg/l
	ดี	พอใช้	เสื่อมโทรม	เสื่อมโทรมมาก
TCB	< 5,000 หน่วย	< 20,000 หน่วย	> 20,000 หน่วย	
	ดี	พอใช้	เสื่อมโทรม	
FCB	< 1,000 หน่วย	< 4,000 หน่วย	> 4,000 หน่วย	
	ดี	พอใช้	เสื่อมโทรม	
NH ₃	< 0.22 mg/l	< 0.50 mg/l	< 1.83 mg/l	> 1.83 mg/l
	ดี	พอใช้	เสื่อมโทรม	เสื่อมโทรมมาก

หลังจากได้เกณฑ์คุณภาพน้ำแต่ละพารามิเตอร์แล้ว เมื่อจะสรุปว่า จุดตรวจวัดนั้นอยู่ในเกณฑ์ใดก็จะพิจารณาจากเกณฑ์คุณภาพน้ำที่ต่ำที่สุด จากนั้นเทียบกับค่าคะแนนเฉลี่ย 5 พารามิเตอร์ โดยค่าคะแนนเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำเป็น ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ค่าคะแนนเฉลี่ย 5 พารามิเตอร์เทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำ [10]

ค่าคะแนนเกณฑ์คุณภาพน้ำ	> 71	> 61	> 31	> 0
	ดี	พอใช้	เสื่อมโทรม	เสื่อมโทรมมาก

ถ้าเกณฑ์คุณภาพน้ำไม่ต่างกัน คะแนนพิเศษ คือ 0 ถ้าต่างกัน 1 ระดับ คะแนนพิเศษ คือ 10 ต่างกัน 2 ระดับ คะแนนพิเศษ คือ 15 ต่างกัน 3 ระดับ คะแนนพิเศษ คือ 20 นำคะแนนพิเศษไปลบกับ ค่าคะแนนเฉลี่ย 5 พารามิเตอร์ ได้คะแนนรวมของจุดตรวจวัดนั้นดังแสดงตัวอย่างการคำนวณตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ตัวอย่างการคำนวณ [10]

พารามิเตอร์	DO	BOD	TCB	FCB	NH ₃
ค่าคุณภาพน้ำ	3.8	0.7	160,000	17,000	0.20
คะแนน	58	86	31	57	74
คะแนนเฉลี่ย	61				
เกณฑ์คุณภาพน้ำ	พอใช้				

พารามิเตอร์	DO	BOD	TCB	FCB	NH ₃
ค่าคุณภาพน้ำ	3.8	0.7	160,000	17,000	0.20
เกณฑ์คุณภาพน้ำ	พอใช้	ดี	เสื่อมโทรม	เสื่อมโทรม	ดี
สรุปเกณฑ์คุณภาพน้ำ	เสื่อมโทรม				
พบว่าต่างกัน 1 ระดับ	10				
ค่าคะแนนรวม	$61 - 10 = 51$				

การเพิ่มคะแนนพิเศษ โดยการ เทียบเกณฑ์คุณภาพน้ำระหว่าง พารามิเตอร์ กับ ค่าคะแนนเฉลี่ย ดังนี้

- ถ้าไม่ต่างกัน คะแนนพิเศษ เป็น 0
- ถ้าต่างกัน 1 ระดับ เช่น เกณฑ์คุณภาพน้ำพารามิเตอร์ อยู่ในเกณฑ์ พอใช้ เกณฑ์คุณภาพน้ำค่าคะแนนเฉลี่ย อยู่ในเกณฑ์ ดี คะแนนพิเศษ เป็น 10
- ถ้าต่างกัน 2 ระดับ เช่น เกณฑ์คุณภาพน้ำพารามิเตอร์ อยู่ในเกณฑ์ เสื่อมโทรม เกณฑ์คุณภาพน้ำค่าคะแนนเฉลี่ย อยู่ในเกณฑ์ ดี คะแนนพิเศษ เป็น 15
- ถ้าต่างกัน 3 ระดับ เช่น เกณฑ์คุณภาพน้ำพารามิเตอร์ อยู่ในเกณฑ์ เสื่อมโทรมมาก เกณฑ์คุณภาพน้ำค่าคะแนนเฉลี่ย อยู่ในเกณฑ์ ดี คะแนนพิเศษ เป็น 20
- โดยการคำนวณเป็นดังสมการที่ (2.8)

$$\text{คะแนนรวม} = \text{ค่าเฉลี่ยของคะแนนทั้ง 5 พารามิเตอร์} - \text{คะแนนพิเศษ} \quad (2.8)$$

สรุปวิธีการคิดค่าคะแนนรวมของ 5 พารามิเตอร์จากวิธีการ หลักการและขั้นตอนในการคิด ค่าคะแนนรวมของ 5 พารามิเตอร์ โดยการเทียบกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 3 4 และ 5 นั้น จะเห็นได้ว่า ในอนาคต สามารถเพิ่มพารามิเตอร์อื่นเข้าร่วมในการคิดคะแนนรวม ได้หากมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ตามหลัก หรือถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ใน 5 พารามิเตอร์ดังกล่าว

แล้วทำให้การคิดคะแนนรวม ไม่สอดคล้องกับค่ามาตรฐานอันใหม่ ก็ควรมีการปรับค่าคะแนน ของพารามิเตอร์ ค่าคะแนนพิเศษและเงื่อนไขอื่นๆ โดยการทดลองจากค่าการตรวจวัดจริงเพื่อให้ได้ตามแนวทาง

2.4.2 ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศเวียดนาม

ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศเวียดนาม ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ในปี พ.ศ. 2554 โดยคำนวณได้จากตัวแปรต่างๆ ได้แก่ BOD COD แอมโมเนียทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS) ความขุ่นและแบคทีเรียในรูปโคลิฟอร์มทั้งหมด คำนวณได้จากสมการ (2.9)

$$WQI_{SI} = \frac{q_i - q_{i+1}}{BP_{i+1} - BP_i} (BP_{i+1} - C_p) + q_{i+1} \quad (2.9)$$

- เมื่อ BP_i : ค่าความเข้มข้นของพารามิเตอร์ที่ติดตามตรวจสอบในตารางที่ 2.12 สัมพันธ์กับ i
 BP_{i+1} : ค่าความเข้มข้นของพารามิเตอร์ที่ติดตามตรวจสอบในตารางที่ 2.12 สัมพันธ์กับ $i+1$
 q_i : ค่า WQI ของ i ในตารางที่สัมพันธ์กับค่า BP_i
 q_{i+1} : ค่า WQI ของ $i+1$ ในตารางที่สัมพันธ์กับค่า BP_{i+1}
 C_p : ค่าที่วัดได้จากการติดตามตรวจสอบ

ตารางที่ 2.12 ค่า q_i และ BP_i

i	q_i	BPI values specified for each parameter						
		BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	Tot. Ammonia (mg/l)	Tot. P (mg/l)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)	Tot. Coliform (MPN/100ml)
1	100	≤ 4	≤ 10	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 5	≤ 20	≤ 2500
2	75	6	15	0.2	0.2	20	30	5000
3	50	15	30	0.5	0.3	30	50	7500
4	25	25	50	1	0.5	70	100	10.000
5	1	≥ 50	≥ 80	≥ 5	≥ 6	≥ 100	> 100	> 10.000

การคำนวณค่า WQI ของ DO (WQI_{DO}) คำนวณโดยใช้ค่าความอิ่มตัวของ DO ในการหาค่า WQI โดยขั้นตอนแรก คำนวณหาค่า $DO_{\% \text{ saturation}}$ ได้จากสมการ (2.10) หรือ (2.11)

$$DO_{\text{saturation}} = 14.652 - 0.41022T + 0.0079910T^2 - 0.000077774T^3 \quad (2.10)$$

หรือ

$$DO_{\% \text{ saturation}} = DO_{\text{solubility}} / DO_{\text{saturation}} * 100 \quad (2.11)$$

เมื่อ T : อุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาของการติดตามตรวจสอบ ($^{\circ}\text{C}$)

$DO_{\text{solubility}}$: ค่า DO ที่ติดตามตรวจสอบ (mg/l)

จากนั้นคำนวณค่า WQI_{DO} ได้จากสมการ (2.12)

$$WQI_{SI} = \frac{q_{i+1} - q_i}{BP_{i+1} - BP_i} (C_p - BP_i) + q_i \quad (2.12)$$

เมื่อ C_p : ค่า %DO อิ่มตัว

$BP_i, BP_{i+1}, q_i, q_{i+1}$: ค่าที่สัมพันธ์กับ i และ $i+1$ แสดงในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 ค่า BP_i และ q_i ของ %DO อิ่มตัว

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BP_i	≤ 20	20	50	75	88	112	125	150	200	≥ 200
q_i	1	25	50	75	100	100	75	50	25	1

คำนวณค่า WQI ของ pH (WQI_{pH}) แสดงในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 ค่า BP_i และ q_i ของ pH

I	1	2	3	4	5	6
BP _i	≤ 5.5	5.5	6	8.5	9	≥ 9
q _i	1	50	100	100	50	1

หลังจากคำนวณดัชนีคุณภาพน้ำแต่ละพารามิเตอร์เสร็จแล้ว ทำการรวมดัชนีคุณภาพน้ำรวมได้ ดังสมการที่ (2.13)

$$WQI = \frac{WQI_{pH}}{100} \left[\frac{1}{5} \sum_{a=1}^5 WQI_a \times \frac{1}{2} \sum_{b=1}^2 WQI_b \times WQI_c \right]^{1/3} \quad (2.13)$$

เมื่อ WQI_{pH} : ค่า WQI จำนวนจาก 5 ตัวแปร คือ DO, BOD5, COD, แอมโมเนียทั้งหมด และ ฟอสฟอรัสทั้งหมด

WQI_a : ค่า WQI จำนวนจาก 2 ตัวแปร คือ TSS และ ความขุ่น

WQI_b : ค่า WQI จำนวนจากตัวแปร แบคทีเรียในรูปโคลิฟอร์มทั้งหมด

WQI_c : ค่า WQI จำนวนจากตัวแปร pH

เมื่อกำหนดค่าดัชนีรวมออกมาได้แล้วสามารถนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศเวียดนามได้ ดังตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ค่า WQI เทียบกับระดับคุณภาพน้ำ

ค่าคะแนน WQI	ประเมินระดับคุณภาพน้ำ	สี
91 - 100	ใช้ผลิตน้ำดื่ม	ฟ้า
76 - 90	ใช้ผลิตน้ำดื่ม เมื่อได้รับการปรับปรุงคุณภาพน้ำ	เขียว
51 - 75	ใช้สำหรับการชลประทาน	เหลือง
26 - 50	ใช้สำหรับการคมนาคมขนส่ง	ส้ม

0 - 25	น้ำเสียที่ต้องการการปรับปรุงในอนาคต	แดง
--------	-------------------------------------	-----

2.4.3 ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศอินโดนีเซีย

ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศอินโดนีเซีย ได้กำหนดให้ L_{ij} คือความเข้มข้นของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เป็นมาตรฐานการใช้น้ำโดยเฉพาะ (j) และ C_i คือความเข้มข้นของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำในแม่น้ำลำคลอง โดยที่ PI_j เป็นดัชนีมลพิษสำหรับการใช้น้ำ (j) ซึ่งมีฟังก์ชัน เป็น C_i / L_{ij}

วิธีการแปรผลด้วยดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศอินโดนีเซีย (PI_j) มีขั้นตอนดังนี้

1. จำแนกความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์
2. จำแนกความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์มาตรฐาน
3. คำนวณ C_i / L_{ij} แต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละจุดเก็บ
4. สำหรับพารามิเตอร์ระดับมลพิษที่เพิ่มขึ้นมาเมื่อค่าพารามิเตอร์มีค่าต่ำกว่า เช่น DO

กำหนดค่าตามหลักทฤษฎีหรือเป็นค่าสูงสุดของ C_{im} (ตัวอย่าง เช่น DO, ค่า C_{im} ค่า DO อิมตัว) ในกรณีนี้ค่า C_i / L_{ij} จากจุดเก็บตัวอย่างคำนวณได้ดังสมการ (2.14)

$$\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{calculation} = \frac{C_{im} - C_i(\text{measurement})}{C_{im} - L_{ij}} \quad (2.14)$$

5. สำหรับพารามิเตอร์ที่มีค่ามาตรฐานเป็นช่วงเช่น pH คำนวณได้ดังสมการ (2.15) และ

(2.16)

- เมื่อ $C_i \leq$ ค่าเฉลี่ยของ L_{ij}

$$\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{calculation} = \frac{[C_i - (L_{ij})_{avg}]}{[(L_{ij})_{min} - (L_{ij})_{avg}]} \quad (2.15)$$

- และเมื่อ $C_i \geq$ ค่าเฉลี่ยของ L_{ij}

$$\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{calculation} = \frac{[C_i - (L_{ij})_{avg}]}{[(L_{ij})_{max} - (L_{ij})_{avg}]} \quad (2.16)$$

6. ในกรณีที่ค่าของ C_i / L_{ij} ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดคือ 1 (ตัวอย่าง เช่น 0.9 หรือ 1.1) หรือมีค่าที่แตกต่างไปจากค่าที่กำหนด (ตัวอย่าง เช่น 5 หรือ 10) ทำให้ยากในการจะหาค่า ในกรณีนี้มีวิธีแก้ปัญหาคือ

- ใช้ค่า C_i / L_{ij} จากการตรวจวัดถ้ามีค่าน้อยกว่า 1.0
- ใช้ค่า C_i / L_{ij} จากการคำนวณถ้าค่าจากการตรวจวัดที่ค่ามากกว่า 1.0 คำนวณได้ดังสมการ (2.17)

$$\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{\text{calculation}} = 1.0 + P \cdot \log \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{\text{measurement}} \quad (2.17)$$

เมื่อ : P = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมหรือค่ามาตรฐานที่กำหนดตามความต้องการของการใช้น้ำ

7. กำหนดค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของ C_i / L_{ij} ทุกตัว
8. คำนวณ PI_j ดังสมการ (2.18)

$$PI_j = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i^2}{L_{ijM}}\right) + \left(\frac{C_i^2}{L_{ijR}}\right)}{2}} \quad (2.18)$$

เมื่อ : C_i = ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ i, L_{ij} = มาตรฐานความเข้มข้นของพารามิเตอร์, $(C_i/L_{ij})_R$ = ค่าเฉลี่ยของ C_i/L_{ij} , $(C_i/L_{ij})_M$ = ค่าสูงสุดของ C_i/L_{ij}
 วิธีการนี้สามารถเปรียบเทียบผลจากการคำนวณค่า PI_j ที่ประเภทคุณภาพน้ำ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.16 การประเมินค่า PI_j

ค่าคะแนน PI_j	การจำแนกประเภทคุณภาพน้ำ
$0 \leq PI_j \leq 1.0$	ดี
$1.0 < PI_j \leq 5.0$	ปานกลาง
$5.0 < PI_j \leq 10.0$	ปนเปื้อน
$PI_j > 10.0$	ปนเปื้อนมาก

2.5 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศไทย เวียดนามและอินโดนีเซียมีรายละเอียด ดังนี้

2.5.1 ประเทศไทย

หลักการสำคัญในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ ได้แก่ การกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อรักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์การจัดแบ่งลักษณะการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ และการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ หลักเกณฑ์ในการพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำที่ได้จัดทำขึ้น มีหลักเกณฑ์ที่สำคัญดังนี้ [11]

1. ความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมแต่ละประเภทในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นมีการใช้ประโยชน์หลายด้าน (Multi Purposes) โดยคำนึงถึงการใช้ประโยชน์หลักเป็นสำคัญ ทั้งนี้ระดับมาตรฐานจะไม่ขัดแย้งต่อการใช้ประโยชน์หลายด้านพร้อมกัน
2. สถานการณ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำหลักของประเทศและแนวโน้มของคุณภาพน้ำที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการพัฒนาด้านต่างๆ ในอนาคต
3. คำนึงถึงสุขภาพและความปลอดภัยของชีวิตมนุษย์และสัตว์น้ำส่วนใหญ่
4. ความรู้สึกพึงพอใจในการยอมรับระดับคุณภาพน้ำในเขตต่างๆ ของประชาชนในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักและของประชาชนส่วนใหญ่

วัตถุประสงค์ในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ เพื่อเป็นแนวทางการรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่คงสภาพดีเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ และฟื้นฟูคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรมหรือมีแนวโน้มของการเสื่อมโทรมให้มีสภาพที่ดีขึ้น โดยคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังตารางที่ 2.2 และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งเป้าหมายในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินมีดังนี้

1. เพื่อให้มีการจัดทำแบ่งประเภทแหล่งน้ำโดยมีมาตรฐานระดับที่เหมาะสมและสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ

2. เพื่อให้มีมาตรฐานคุณภาพน้ำและวิธีการตรวจสอบที่เป็นหลักสำหรับการวางโครงการต่าง ๆ ที่ต้องคำนึงถึงแหล่งน้ำเป็นสำคัญ

3. เพื่อรักษาคุณภาพแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นต้นน้ำลำธารให้ปราศจากการปนเปื้อนจากกิจกรรมใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ 2.17 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน [11]

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
1	- ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ
2	- ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
3	- ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร
4	- ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (2) การอุตสาหกรรม
5	- ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

หมายเหตุ : กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติและแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

ตารางที่ 2.18 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเทศไทย [11]

ดัชนีคุณภาพน้ำ ^{1/}	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ^{2/} ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
1.สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	-	๕	๕'	๕'	๕'	-	-
2.อุณหภูมิ (Temperature)	°C	-	๕	๕'	๕'	๕'	-	เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	-	๕	5-9	5-9	5-9	-	เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter) ตามวิธีหาค่าแบบ Electrometric
4.ออกซิเจนละลาย (DO) ^{2/}	มก./ล.	P20	๕	6.0	4.0	2.0	-	Azide Modification
5.บีโอดี (BOD)	มก./ล.	P80	๕	1.5	2.0	4.0	-	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน
6.แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	P80	๕	5,000	20,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
7.แบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	P80	๕	1,000	4,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
8.ไนเตรด (NO ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	๕	5.0		-	-	Cadmium Reduction
9.แอมโมเนีย (NH ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	๕	0.5		-	-	Distillation Nesslerization
10.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	๕	0.005		-	-	Distillation, 4-Amino antipyrine
11.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	๕	0.1		-	-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
12.นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	-	๕	0.1		-	-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
13.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	๕	1.0		-	-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
14.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	๕	1.0		-	-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
15.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	๕	0.005* 0.05***		-	-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
16.โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr Hexavalent)	มก./ล.	-	๕	0.05		-	-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	-	๕	0.05		-	-	Atomic Absorption -Direct Aspiration

ตารางที่ 2.18 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ต่อ) [11]

ดัชนีคุณภาพน้ำ ^{1/}	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ^{2/} ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
18.ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล.	-	๕	0.002		-	-	Atomic Absorption-Cold Vapour Technique
19.สารหนู (As)	มก./ล.	-	๕	0.01		-	-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
20.ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	-	๕	0.005		-	-	Pyridine-Barbituric Acid
21.กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) ค่ารังสีเบตา (Beta)	เบกเคอเรล/ล.	-	๕	0.1 1.0		-	-	Gas-Chromatography
22.สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล.	-	๕	0.05		-	-	Gas-Chromatography
23.ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕	1.0		-	-	Gas-Chromatography
24.บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕	0.02		-	-	Gas-Chromatography
25.ดีลดริน (Dieldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕	0.1		-	-	Gas-Chromatography
26.อัลดริน (Aldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕	0.1		-	-	Gas-Chromatography
27.เฮปตาคลอรัปอกไซด์ (Heptachlor & Heptachlorepoxyde)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕	0.2		-	-	Gas-Chromatography
28.เอนดริน (Endrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด		-	-	Gas-Chromatography

หมายเหตุ : ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

๓ เป็นไปตามธรรมชาติ

๓/ อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

๐ ๓ องศาเซลเซียส

P20 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล. มิลลิกรัมต่อลิตร

มล. มิลลิลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของแม่น้ำเจ้าพระยา อยู่ในเขตควบคุมมาตรฐานคุณภาพน้ำช่วงที่ 1 (กิโลเมตร จากปากแม่น้ำ) จากองค์พระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ ถึงศาลากลางจังหวัดนนทบุรีหลังเก่า (กิโลเมตรที่ 7 ถึง 62) ซึ่งคุณภาพน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาตามมาตรฐานคุณภาพน้ำใน แหล่งน้ำผิวดินอยู่ในประเภทที่ 4 ซึ่งเป็นประเภทที่สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการอุตสาหกรรม

การคมนาคม การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

2.5.2 ประเทศเวียดนาม

ประเทศเวียดนามได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำโดยแบ่งเป็นประเภท ดังต่อไปนี้
 ประเภท A1 เป็นน้ำที่ใช้เพื่อการประปาในครัวเรือนโดยไม่ผ่านการบำบัดคุณภาพน้ำก่อน
 ประเภท A2 เป็นน้ำที่ใช้สำหรับการทำน้ำประปาโดยต้องผ่านการบำบัดคุณภาพน้ำก่อน
 ประเภท B1 เป็นน้ำที่ใช้เหมาะสำหรับการชลประทาน
 ประเภท B2 เป็นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการคมนาคมและการเกษตร แสดงดังตารางที่ 2.19

ตารางที่ 2.19 มาตรฐานคุณภาพน้ำในประเทศเวียดนาม [12]

ลำดับ	พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์ลักษณะตามการแบ่งประเภท			
			ประเภท A		ประเภท B	
			A1	A2	B1	B2
1	pH	mg/l	6-8.5	6-8.5	5.5-9	5.5-9
2	DO	mg/l	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2
3	TSS	mg/l	20	30	50	100
4	COD	mg/l	10	15	30	50
5	BOD ₅ (20°C)	mg/l	4	6	15	25
6	NH ₄	mg/l	0.1	0.2	0.5	1
7	Cl ⁻	mg/l	250	400	600	-
8	F ⁻	mg/l	1	1,5	1,5	2
9	NO ₂ ⁻	mg/l	0.01	0.02	0.04	0.05
10	NO ₃ ⁻	mg/l	2	5	10	15
11	PO ₄ ³⁻	mg/l	0.1	0.2	0.3	0.5
12	CN	mg/l	0.005	0.01	0.02	0.02

ตารางที่ 2.19 คุณภาพน้ำในประเทศเวียดนาม [ต่อ]

ลำดับ	พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์ลักษณะตามการแบ่งประเภท	
			ประเภท A	ประเภท B

			A1	A2	B1	B2
13	As	mg/l	0.01	0.02	0.05	0.1
14	Cd	mg/l	0.005	0.005	0.01	0.01
15	Pb	mg/l	0.02	0.02	0.05	0.05
16	Cr ³⁺	mg/l	0.05	0.1	0.5	1
17	Cr ⁶⁺	mg/l	0.01	0.02	0.04	0.05
18	Cu	mg/l	0.1	0.2	0.5	1
19	Zn	mg/l	0.5	1.0	1.5	2
20	Ni	mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1
21	Fe	mg/l	0.5	1	1.5	2
22	Hg	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.002
23	Free chloride	mg/l	0.1	0.2	0.4	0.5
24	Oil&Grease	mg/l	0.01	0.02	0.1	0.3
25	Phenol	mg/l	0.005	0.005	0.01	0.02
26	DDT	µg/l	0.001	0.002	0.004	0.005
27	TP	µg/l	0.1	0.2	0.4	0.5
28	2,4,5T	µg/l	80	100	160	200
29	α	Bq/l	0.1	0.1	0.1	0.1
30	β	Bq/l	1.0	1.0	1.0	1.0
31	E. coli	MPN/ 100ml	20	50	100	200
32	Coliform	MPN/ 100ml	2500	5000	7500	10000

2.5.3 ประเทศอินโดนีเซีย

เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศอินโดนีเซียแบ่งออกเป็น 4 ประเภท [13]

- ประเภทที่ 1 ใช้เป็นน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำดื่ม และการใช้ประโยชน์อื่นๆ ที่ต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพเดียวกัน

- ประเภทที่ 2 ใช้เป็นน้ำสำหรับการใช้ประโยชน์ทางการด้านการสันนาการ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด การชลประทาน และการใช้ประโยชน์อื่นๆ ที่ต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพเดียวกัน

- ประเภทที่ 3 ใช้เป็นน้ำสำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด การทำฟาร์ม การชลประทาน และการใช้ประโยชน์อื่นๆ ที่ต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพเดียวกัน

- ประเภทที่ 4 ใช้เป็นน้ำสำหรับการใช้ประโยชน์ทางการชลประทาน และการใช้ประโยชน์อื่นๆ ที่ต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพเดียวกันดังตารางที่ 2.20

ตารางที่ 2.20 มาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศอินโดนีเซีย [13]

PARAMETER	UNIT	CLASS				NOTE
		I	II	III	IV	
PHYSICAL						
Temperature	°C	Deviation 3	Deviation 3	Deviation 3	Deviation 5	Temperature deviation from natural condition
Dissolved Solid	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Suspended Solid	mg/L	50	50	400	400	For conventional drinking water treatment, suspended solid ≤ 5000 mg/L
INORGANIC CHEMICAL						
pH		6-9	6-9	6-9	5-9	If natural pH is outside the range, then the standard should be determined based on natural condition
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Minimum limit
Total Phosphate as P	mg/L	0.2	0.2	1	5	
NO ₃ as N	mg/L	10	10	20	20	
NH ₃ -N	mg/L	0.5	-	-	-	For fishery, free ammonia content for sensitive fish ≤ 0.02 mg/L as NH ₃
Arsenic	mg/L	0.05	1	1	1	
Cobalt	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	

ตารางที่ 2.20 มาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศอินโดนีเซีย[ต่อ]

PARAMETER	UNIT	CLASS	NOTE
-----------	------	-------	------

		I	II	III	IV	
Barium	mg/L	1	-	-	-	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.05	
Cadmium	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	
Chromium (VI)	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.01	
Copper	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.2	
Iron	mg/L	0.3	-	-	-	
Lead	mg/L	0.03	0.03	0.03	1	For conventional drinking water treatment, Cu ≤ 1 mg/L
Manganese	mg/L	0.1	-	-	-	For conventional drinking water treatment, Fe ≤ 5 mg/L
Mercury	mg/L	0.001	0.002	0.002	0.005	For conventional drinking water treatment, Pb ≤ 0.1 mg/L
Zinc	mg/L	0.005	0.005	0.005	2	
Chloride	mg/L	600	-	-	-	
Cyanide	mg/L	0.002	0.002	0.002	-	For conventional drinking water treatment, Zn ≤ 5 mg/L
Fluoride	mg/L	0.5	1.5	1.5	-	
NO ₂ as N	mg/L	0.06	0.06	0.06	-	
Sulfate	mg/L	400	-	-	-	
Free Chlorine	mg/L	0.03	0.03	0.03	-	For conventional drinking water treatment, NO ₂ -N ≤ 1 mg/L
Gross-A	Bq/L	0.1	0.1	0.1	0.1	
Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	
Detergent as MBAS	µg/L	200	200	200	-	
Phenol Compound as Phenol	µg/L	1	1	1	-	
BHC	µg/L	210	210	210	-	
Aldrin/Dieldrin	µg/L	17	-	-	-	
Chlordane	µg/L	3	-	-	-	
DDT	µg/L	2	2	2	2	
Heptachlor & Heptachlor epoxide	µg/L	18	-	-	-	
Lindane	µg/L	56	-	-	-	
Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-	
Endrin	µg/L	1	4	4	-	
Toxaphan	µg/L	5	-	-	-	

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Paul [14] ได้ศึกษาสภาวะแวดล้อมตอนกลางของแอตแลนติกในแถบสหรัฐอเมริกาทั้งภูมิภาคและภายในภูมิภาคย่อยที่สำคัญ โดยพัฒนาดัชนีความสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมเพื่อประเมินสภาพโดยรวมทั่วทั้งภูมิภาค วิธีการของดัชนีความสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมมีกระบวนการอยู่ 4 ขั้นตอน คือ (1) เลือกองค์ประกอบสำหรับจัดทำดัชนี (2) คำนวณค่าดัชนีย่อย (Subindex) สำหรับแต่ละองค์ประกอบของแต่ละรายการ (3) การรวมค่าดัชนี (4) การแปลความค่าดัชนี วิธีการของดัชนีความสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมนี้เป็นวิธีที่แสดงให้เห็นโดยการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ปากแม่น้ำตอนกลางของแอตแลนติกและลำธารในบริเวณที่ราบสูงในตอนกลางของ แอตแลนติก เนื่องจากวิธีการดัชนีความสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นวิธีการใหม่ การประยุกต์ใช้จึงควรมีการพิจารณาเพื่อไม่ให้เกิดปัญหา เช่น การประเมินผลของการเลือกตัวชี้วัดที่มีรูปแบบการถ่วงน้ำหนัก ความไม่แน่นอนและ วิธีการที่เหมาะสมในการแปลความหมายของแต่ละค่า

Aguilera และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาระเบียบวิธีการของดัชนีคุณภาพน้ำของชายฝั่ง และการประยุกต์ใช้กับแหล่งท่องเที่ยว โดยมีการจัดหมวดหมู่และการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อนำเสนอ เช่น ข้อมูลธาตุอาหาร (แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรตและฟอสเฟต) โดยทำการวิเคราะห์ตามแนวชายฝั่งของแหล่งท่องเที่ยวในประเทศสเปน ใช้การจัดหมวดหมู่เป็นตัวเลข 3 ระดับของภาระบรรทุกของธาตุอาหารและได้อธิบายลักษณะของแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารต่ำ (Oligotrophic) มีธาตุอาหารปานกลาง (Mesotrophic) และความเป็นไปได้ของแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารสูง (Eutrophic) ดัชนีคุณภาพน้ำที่นำเสนอสามารถประเมินสภาพของแหล่ง น้ำที่ลุ่มตัวอย่างได้อยู่ในช่วง Mesotrophic

Johnnalagadda และคณะ [16] ได้ศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำ Odzi บริเวณที่ราบสูงทางภาคตะวันออกของซิมบับเว ซึ่งสำหรับแม่น้ำ Odzi เป็นแม่น้ำสายหลักที่มีต้นกำเนิดอยู่ทางที่ราบ สูงในภาคตะวันออกของซิมบับเว เป็นธรรมชาติที่มีแหล่งที่มาและขนาดของมลพิษที่มีลักษณะพิเศษ ช่วงเวลากว่า 9 เดือนที่ได้ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำจาก 6 สถานี เพื่อนำมาวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและทางเคมีด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ, ค่าการนำไฟฟ้า, pH, TDS, BOD, ฟอสฟอรัสทั้งหมดและไนเตรต แม่น้ำ Mutare ได้มีการรั่วซึมจากการถูกทิ้งไว้ของเหมืองแร่ไปยังแม่น้ำ Odzi คุณภาพน้ำของแม่น้ำ Odzi ที่จุดที่แตกต่างกัน ทำการประเมินโดยดัชนีคุณภาพเพื่อทำการเปรียบเทียบจะเห็นว่าดัชนีคุณภาพในระหว่างที่ทำการศึกษานั้น คุณภาพน้ำในตอนบนของแม่น้ำอยู่ในระดับปานกลางถึงดี มีการหดตัวในบริเวณที่ราบลุ่มเนื่องจากเกิดการรั่วซึมจากการถูกทิ้งไว้ของเหมืองแร่และการระบายน้ำออกจากฟาร์ม

Bordalo และคณะ [17] รายงานการตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยได้เก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2541 – พฤษภาคม พ.ศ. 2542 ทั้งหมด 11 จุดเก็บตัวอย่างตลอดแนวยาวของแม่น้ำบางปะกงทางภาคตะวันออกของประเทศไทย 227 กิโลเมตร โดยแบ่งเป็นช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน)

และช่วงฤดูแล้ง (เดือนธันวาคม-พฤษภาคม) โดยการเก็บตัวอย่างแต่ละจุดเก็บจะเป็นการเก็บแบบ อินทรีเกต และมีค่าพารามิเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำ ความขุ่น ปริมาณของแข็งแขวนลอย ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย แบคทีเรียในรูปฟี คอลโลลิฟอร์ม ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนที่หาได้โดยวิธีการทางเคมี สภาพความนำไฟฟ้า ฟอสเฟส และ โลหะหนัก ดัชนีคุณภาพน้ำที่ใช้เป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่ใช้ในประเทศสกอตแลนด์ เพื่อเป็นการปรับให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศเขตร้อน ผลการศึกษาพบว่า WQI เฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำ (41%) และมีคุณภาพแยลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงฤดูแล้ง (ANOVA, $p < 0.001$) ผลลัพธ์ตามช่วงฤดูกาลแสดงให้เห็นว่าแม่น้ำเหมาะสำหรับ tolerant fish, wildlife species และใช้สำหรับผลิตน้ำดื่ม เมื่อผ่านการบำบัดขั้นสูงแล้ว ในช่วงฤดูแล้ง

Kumar และ Dua [18] รายงานคุณภาพน้ำของแม่น้ำ Ravi ประเทศอินเดียเป็นแม่น้ำสายย่อยของแม่น้ำ Indus ทำการประเมินโดยใช้เทคนิคดัชนีคุณภาพน้ำ (WQI) มีค่าพารามิเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ความกระด้างทั้งหมด แคลเซียม แมกนีเซียม ความเป็นด่างทั้งหมด ออกซิเจนละลายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์พบว่าดัชนีคุณภาพน้ำของแม่น้ำ Ravi อยู่ระหว่าง 54.8-97.88 เมื่อไหร่ก็ตามที่มีกิจกรรมของมนุษย์เกิดขึ้น เช่น การดำเนินงานของเขื่อนกั้นน้ำ จะทำให้ดัชนีคุณภาพน้ำมีค่าลดลง ซึ่งดัชนีคุณภาพน้ำสามารถ นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำจากแหล่งต่างๆ ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ เป็นการศึกษาถึงดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำว่ามีกระบวนการเป็นอย่างไร มีการจัดหมวดหมู่ในการวิเคราะห์ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงฤดูน้ำหลากและช่วงฤดูแล้ง ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำเพื่อให้เหมาะสมกับในแต่ละประเทศ