รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ (Prediction of Groundwater Quality in the East of Thailand with Discriminant Analysis Method)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุภัทร เมฆพายัพ

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2559A10802112
สัญญาเลขที่ 81/2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ (Prediction of Groundwater Quality in the East of Thailand with Discriminant Analysis Method)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุภัทร เมฆพายัพ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 81/2559

Acknowledgement

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 81/2559).

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร
(Executive Summary)

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.จตุภัทร เมฆพายัพ ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา ประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการวิจัยเรื่อง การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ (Prediction of Groundwater Quality in the East of Thailand with Discriminant Analysis Method) รหัสโครงการ 2559A10802112 / สัญญาเลขที่ 81/2559 ได้รับงบประมาณรวมทั้งสิ้น 220,000 บาท ระยะเวลาการดำเนินงาน 1 ปี

บทคัดย่อ

ตัวอย่างบ่อน้ำบาดาลจำนวน 316 บ่อในภาคตะวันออกของประเทศไทยถูกนำมาวิเคราะห์สำหรับวัตถุประสงค์ในการอุปโภคและบริโภค ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ทางเคมีที่แตกต่างกันจำนวน 21 ตัวถูกนำมาวัดเพื่อทำนายและประเมินค่าคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิส-คริมิแนนต์และอัตราการจำแนกถูก ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ทีละขั้นตอนระบุได้ว่ามีพารามิเตอร์ที่สำคัญจำนวน 5 ตัว ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง เหล็ก ฟลูออไรด์ และคาร์บอเนต ซึ่งสามารถใช้จำแนกความแตกต่างคุณภาพของน้ำบาดาลได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐานและกลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน นอกจากนี้ตัวแบบดิสคริมิแนนต์ที่ได้ยังเป็นตัวแบบที่สามารถจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลได้ถูกต้องด้วยค่าอัตราการจำแนกถูกค่อนข้างสูง (78.80%) สำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

คำสำคัญ: น้ำบาดาล คุณภาพของน้ำบาดาล วิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์

ผลลัพธ์ที่ได้และข้อเสนอแนะ

ผลที่ได้จากงานวิจัย “การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์” สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ตัวแปรอิสระที่ถูกนำไปสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์เพื่อทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลมีจำนวน 5 ตัว คือ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ฟลูออไรด์ (F) และคาร์บอเนต (CO_3) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกันกับเมื่อทำการตรวจสอบลักษณะทั่วไปของบ่อน้ำบาดาลในภาคตะวันออกด้วยสถิติเชิงพรรณนาแล้วพบว่ามีปริมาณของแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และฟลูออไรด์ (F) ที่มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด จึงสามารถนำผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลให้ดีขึ้น โดยให้มีปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ในน้ำมีคุณลักษณะทางเคมีเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้เพื่อสุขลักษณะอนามัยที่ดีของชุมชนในภาคตะวันออก

2. สามารถใช้ตัวแบบดิสคริมิแนนต์เป็นเครื่องมือช่วยในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลแทนการตรวจสอบปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ในน้ำที่ต้องมีการตรวจสอบได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการทางเคมีเท่านั้น อีกทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณสารเคมีเหล่านี้ยังมีราคาแพงและต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญเฉพาะด้านอีกด้วย

3. สามารถใช้งานวิจัยนี้เป็นเครื่องชี้แนะหรือข้อแนะนำในการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ ในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล เช่น ตัวแบบข่ายงานระบบประสาท เป็นต้น

4. สามารถขยายผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้โดยนำตัวแบบดิสคริมิแนนต์ไปทำนายหรือพยากรณ์ค่าคุณภาพของน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ในจังหวัดอื่น ๆ ของประเทศไทยได้

5. สามารถนำผลที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้กับกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

บทคัดย่อภาษาไทย

ตัวอย่างบ่อน้ำบาดาลจำนวน 316 บ่อในภาคตะวันออกของประเทศไทยถูกนำมาวิเคราะห์สำหรับวัตถุประสงค์ในการอุปโภคและบริโภค ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ทางเคมีที่แตกต่างกันจำนวน 21 ตัวถูกนำมาวัดเพื่อทำนายและประเมินค่าคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์และอัตราการจำแนกถูกตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ทีละขั้นตอนระบุได้ว่ามีพารามิเตอร์ที่สำคัญจำนวน 5 ตัว ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง เหล็ก ฟลูออไรด์ และคาร์บอเนต ซึ่งสามารถใช้จำแนกความแตกต่างคุณภาพของน้ำบาดาลได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐานและกลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน นอกจากนี้ตัวแบบดิสคริมิแนนต์ที่ได้ยังเป็นตัวแบบที่สามารถจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลได้ถูกต้องด้วยค่าอัตราการจำแนกถูกค่อนข้างสูง (78.80%) สำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

คำสำคัญ: น้ำบาดาล คุณภาพของน้ำบาดาล วิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์

Abstract

The 316 samples of groundwater wells in the east of Thailand were analyzed for consumption purpose. The concentrations of 21 various chemical parameters were gauged to predict and then evaluate the quality of groundwater with discriminant analysis method and correct classification rate (CCR), respectively. The study results found stepwise discriminant analysis determined 5 significant parameters, Manganese (Mn), Copper (Cu), Iron (Fe), Fluorine (F) and Carbonate (CO_3), which discriminated the groundwater quality into 2 groups; nonstandard and standard quality groups. Moreover, the derived discriminant model was capable correctly classified the group of groundwater quality with a rather high value of CCR (78.80%) for the validation data set.

Keywords: Groundwater, Groundwater Quality, Discriminant Analysis Method

สารบัญเรื่อง

		หน้า
กิตติกรรมประกาศภาษาไทย		ก
กิตติกรรมประกาศภาษาอังกฤษ		ข
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร		ค
บทคัดย่อภาษาไทย		จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ฉ
สารบัญเรื่อง		ช
สารบัญตาราง		ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย		ญ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
	1.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	2
	1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
	1.4 ขอบเขตของการวิจัย	5
	1.5 แนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	6
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	8
บทที่ 2	วิธีดำเนินการวิจัย	9
	2.1 คำอธิบายข้อมูล	9
	2.2 การประเมินค่าตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล	10
	2.3 การกำหนดตัวแปรอิสระที่สำคัญในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล	10
	2.4 การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์	10
	2.5 การประเมินค่าการทำนายคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์	10
บทที่ 3	ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	12
	3.1 ผลการประเมินค่าตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล	12
	3.2 ผลการกำหนดตัวแปรอิสระที่สำคัญในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล	14
	3.3 ผลการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์	15
	3.4 ผลการประเมินค่าการทำนายคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์	17
บทที่ 4	บทสรุป	18
	4.1 สรุปผลการวิจัย	18
	4.2 อภิปรายผลการวิจัย	19
บทที่ 5	ผลผลิต	20
	5.1 การตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการ	20
	5.2 การจดสิทธิบัตร	20

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
5.3 ผลงานเชิงพาณิชย์	20
5.4 ผลงานเชิงสาธารณะ	20
รายงานการเงิน	21
บรรณานุกรม	22
ประวัตินักวิจัยและคณะ	24

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณลักษณะทางกายภาพของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้	6
2	คุณลักษณะทางเคมีของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้	6
3	คุณลักษณะที่เป็นพิษของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้	7
4	คุณลักษณะทางบัคเตรี/แบคทีเรียของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้	7
5	รูปแบบของตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในจังหวัดชลบุรี	12
6	การทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล	14
7	การคัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธีทีละขั้นตอน	15
8	การทดสอบการมีพหุสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ	15
9	สถิติวิลค์แลมป์ดาของการทดสอบความมีนัยสำคัญของฟังก์ชันการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล	16
10	ผลการประเมินค่าการทำนายหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล	17

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย
Ca	แคลเซียม (Calcium)
Cl	คลอไรด์ (Chlorine)
CO_3	คาร์บอเนต (Carbonate)
Cu	ทองแดง (Copper)
CCR	อัตราการจำแนกถูก (Correct Classification Rate)
EC	การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)
F	ฟลูออไรด์ (Fluorine)
Fe	เหล็ก (Iron)
HCO_3	ไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Hidrogen Carbonate)
K	โพแทสเซียม (Potassium)
Mg	แมกนีเซียม (Magnesium)
Mn	แมงกานีส (Manganese)
Na	โซเดียม (Sodium)
NH	ความกระด้างถาวร (Non-carbonate Hardness as $CaCO_3$)
NO_2	ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide)
NO_3	ไนเตรท (Nitrate)
PH	ความเป็นกรด-ด่าง
SO_4	ซัลเฟต (Sulfate)
TDS	ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solids)
TH	ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as $CaCO_3$)
Zn	สังกะสี (Zinc)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ปัจจุบันมีการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นทุกวัน เนื่องจากจำนวนประชากรโลกมีมากขึ้น ทำให้มีการใช้ประโยชน์จากน้ำทั้งในด้านอุปโภคและบริโภคเพิ่มขึ้น มนุษย์จึงต้องแสวงหาแหล่งน้ำเพิ่มเติมให้เพียงพอต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน แหล่งน้ำของโลกตามธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำในบรรยากาศ (Atmospheric water) น้ำผิวดิน (Surface water) และน้ำใต้ดิน (Subsurface water) โดยวัฏจักรน้ำ (Hydrologic cycle) เป็นวงจรการเกิดน้ำซึ่งเริ่มขึ้นจากน้ำบนผิวโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นสู่บรรยากาศจนถึงระดับที่อุณหภูมิต่ำพอที่จะเกิดการควบแน่นเป็นละอองน้ำกลายเป็นเมฆและเกิดเป็นฝนตกลงสู่พื้นผิวโลก เมื่อน้ำตกลงสู่พื้นผิวโลกส่วนหนึ่งจะเป็นหิมะหรือธารน้ำแข็งที่พบในบริเวณภูเขาสูงและบริเวณขั้วโลก และน้ำส่วนหนึ่งจะไหลลงสู่แม่น้ำลำคลองแล้วไหลออกสู่ทะเลและมหาสมุทร ส่วนหนึ่งจะถูกพืชดูดไปใช้แล้วคายน้ำออกสู่บรรยากาศ ส่วนหนึ่งจะระเหยเป็นไอลอยกลับไปสู่บรรยากาศซึ่งจะเรียกว่า “น้ำผิวดิน” และอีกส่วนหนึ่งจะไหลซึมลงสู่ใต้ดินกลายเป็นน้ำใต้ดินหมุนเวียนเป็นวัฏจักรน้ำซึ่งไม่มีที่สิ้นสุด (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

น้ำใต้ดินเป็นน้ำที่อยู่ในระดับผิวดินหรืออยู่ในระดับต่ำกว่าผิวดิน บริเวณของน้ำใต้ดินจะถูกแบ่งออกเป็น 2 เขต ได้แก่

1. เขตไม่อิ่มน้ำ (Unsaturated zone) เป็นเขตที่มีทั้งน้ำและอากาศ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1.1 เขตดิน (Soil zone) เป็นเขตที่เริ่มจากผิวดินซึ่งมีความลึก 1-2 เมตร ในส่วนนี้รากต้นไม้และสัตว์ที่อาศัยอยู่ใต้ดินสามารถชอนไชทำให้เกิดรูพรุน น้ำจึงซึมผ่านได้ดี

1.2 เขตชั้นกลาง (Intermediate zone) เป็นเขตที่มีความลึกไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับความลึกของเขตดิน

1.3 เขตน้ำซึม (Capillary fringe zone) เป็นเขตที่อยู่ส่วนล่างสุดถัดลงมาจากส่วนของเขตชั้นกลางและเป็นส่วนที่อยู่ติดกับส่วนระดับเขตอิ่มน้ำ (Saturated zone)

2. เขตอิ่มน้ำ (Saturated zone) เป็นเขตที่มีแต่น้ำเท่านั้นจึงเป็นส่วนของน้ำใต้ดินที่แท้จริง

น้ำบาดาล (Ground water) คือน้ำที่ถูกกักเก็บและสะสมตัวอยู่ใต้ดิน อาจสะสมตัวอยู่ตามรอยแตกและรอยแยกของชั้นหิน หรืออาจสะสมตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดกรวดหรือเม็ดทรายใต้ผิวดิน น้ำบาดาลเป็นน้ำที่สะสมอยู่เป็นแอ่งและไม่สามารถซึมผ่านลงชั้นใต้ดินได้อีก น้ำบาดาลจึงจัดอยู่ในเขตอิ่มน้ำ (วิกิพีเดีย, 2556) น้ำบาดาลในแหล่งหนึ่ง ๆ อาจต้องใช้เวลาในการกักเก็บสะสมอย่างต่อเนื่องหลายร้อยหลายพันหรืออาจเป็นหมื่นปีกว่าที่จะไหลซึมผ่านชั้นดิน ชั้นหิน ลงมาถึงแหล่งกักเก็บได้ซึ่งลักษณะของการไหลซึมแบบนี้เปรียบเสมือนเป็นการกรองโดยธรรมชาติ จึงทำให้น้ำบาดาลเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากสารแขวนลอยหรือสารเคมีต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตามขณะที่น้ำไหลผ่านไปตามชั้นดินหรือชั้นหินนั้น อาจมีการละลายเอาแร่ธาตุปะปนเข้ามา รวมไปถึงอาจถูกปนเปื้อนด้วยน้ำที่มีคุณภาพที่ต่ำกว่า หรือสารเคมีที่เกิดการรั่วซึมจากผิวดินในบริเวณนั้นทำให้คุณภาพของน้ำบาดาลเปลี่ยนไป ในประเทศไทยมีการขุดน้ำบาดาลขึ้นมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ชนบท เนื่องจากยังไม่มีการใช้น้ำประปาในพื้นที่ดังกล่าวเพราะเป็นพื้นที่ที่ความเจริญยังเข้าไม่ถึง การทำน้ำประปาจึงมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างมากและมีขั้นตอนที่ยุ่งยากกว่าการทำน้ำบาดาล ดังนั้นน้ำบาดาลจึงถือเป็นแหล่งที่มาของน้ำที่สำคัญสำหรับพื้นที่ดังกล่าว แต่สิ่งสำคัญซึ่งพึงระวังก่อนที่จะมีการนำน้ำบาดาลมาใช้ได้นั้นจะต้องมีการตรวจสอบ

คุณภาพของน้ำเสียก่อนว่ามีความเหมาะสมต่อการอุปโภคและบริโภคหรือไม่ สำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลนั้นทำได้โดยนำค่าคุณภาพของน้ำดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำบาดาล

ภาคตะวันออกมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสูงสลับกับภูเขาลูกเตี้ย ๆ โดยมีทิวเขาจันทบุรีอยู่ทางด้านชายฝั่งทะเลตะวันออกทอดตัวไปทางด้านทิศตะวันตกจรดกับทิวเขาบรรทัดซึ่งเป็นทิวเขาที่เป็นเส้นแบ่งเขตระหว่างประเทศไทยและประเทศกัมพูชา นอกจากนี้ยังมีแม่น้ำสายสำคัญอยู่หลายสายที่ไหลลงสู่อ่าวไทย ได้แก่ แม่น้ำระยอง แม่น้ำจันทบุรี แม่น้ำประแสร์ และแม่น้ำตราด ภาคตะวันออกจึงมีแหล่งกำเนิดของแหล่งน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติอยู่มาก นอกจากนี้ภาคตะวันออกยังเป็นเขตอุตสาหกรรมที่สำคัญจึงเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในจังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง ดังนั้นภาคตะวันออกจึงมีทั้งพื้นที่ในเขตอุตสาหกรรมและพื้นที่ในเขตชนบทที่มีการขุดน้ำบาดาลขึ้นมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบกับมีการขุดน้ำบาดาลเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในยามขาดแคลน เช่น บริเวณอำเภอมะขาม และอำเภอเขาคิชกูฏของจังหวัดจันทบุรีซึ่งมักจะเกิดน้ำท่วมเป็นประจำ ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลของภาคตะวันออกที่นำมาใช้กันว่ามีคุณภาพเหมาะสมต่อการอุปโภคและบริโภคหรือไม่ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่เขตนิคมอุตสาหกรรม จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรีที่มีแหล่งกำเนิดสารมลพิษที่มีศักยภาพสูงและเสี่ยงต่อการทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนัก และสารอินทรีย์ระเหยง่ายลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการทำนายค่าน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ (Discriminant analysis) เนื่องจากน้ำบาดาลในภาคตะวันออกมีแนวโน้มว่าจะมีค่าคุณภาพของน้ำบาดาลไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดทั้งพื้นที่ในเขตอุตสาหกรรมและพื้นที่ในเขตชนบท ซึ่งถ้าหากน้ำบาดาลที่ตรวจสอบมีคุณภาพไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดอาจส่งผลเสียต่อร่างกาย ถ้าหากนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค เช่น หากดื่มน้ำที่มีปริมาณเหล็กสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานจะส่งผลเสียต่อร่างกาย โดยในระยะเฉียบพลันจะทำให้คลื่นไส้อาเจียน แต่หากเป็นเรื้อรังแล้วจะสะสมที่ตับทำให้กระดูกผุ หรือหากดื่มน้ำที่มีปริมาณไนเตรทสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานแล้วจะทำให้ทารกตัวเขียวและส่งผลต่อสตรีมีครรภ์ทำให้เกิดภาวะแท้งได้ หรือหากดื่มน้ำที่มีปริมาณฟลูออไรด์สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานจะทำให้ฟลูออไรด์เข้าไปจับตามกระดูกซึ่งถ้าสะสมเป็นระยะเวลานานจะทำให้กระดูกพรุนและกระดูกเปราะได้ (ไพจิตร์ วราชิต, 2550) ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดผลเสียดังกล่าวขึ้น จึงควรมีการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคว่ามีคุณภาพของน้ำได้มาตรฐานหรือไม่

1.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของน้ำบาดาลมี อาทิเช่น

Steele (1976) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวแปรที่นำมาศึกษา ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) ไฮโดรเจนคาร์บอเนต (H_2CO_3) ซัลเฟต (SO_4) และคลอไรด์ (Cl) และคุณภาพทางเคมีของน้ำ จากแม่น้ำจำนวน 225 สายของประเทศญี่ปุ่น โดยใช้สมการถดถอย (Regression equation) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation) ผลการศึกษาสรุปได้ว่าสมการถดถอยที่ใช้ทำนายค่าความเข้มข้นของโซเดียมมีความแม่นยำสูงที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.98 รองลงมาเป็นสมการถดถอยที่ใช้ทำนายค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.95 ส่วนสมการถดถอยที่ใช้ทำนายค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมมีความแม่นยำน้อยที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.73

Bitton, Farrah, Ruskin, Butner, & Chou (1983) ศึกษาการอยู่รอดของแบคทีเรีย 3 ชนิด ในน้ำใต้ดิน ได้แก่ S. typbimurium, E. coli และ S. faecalis ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้เป็นสาเหตุของการเกิดโรคในมนุษย์ สัตว์และสิ่งมีชีวิต โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียว (Simple linear regression analysis) ผลการศึกษาพบว่าสมการถดถอยสำหรับแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด เป็นดังนี้

สมการถดถอยสำหรับแบคทีเรีย S. typbimurium คือ

$$\hat{y} = 7.33 - 0.0054x$$

สมการถดถอยสำหรับแบคทีเรีย E. coli คือ

$$\hat{y} = 5.82 - 0.0066x$$

สมการถดถอยสำหรับแบคทีเรีย S. faecalis คือ

$$\hat{y} = 5.60 - 0.0012x$$

โดยที่ x เป็นจำนวนวัน และ $\hat{y}$ เป็นค่าทำนายปริมาณแบคทีเรียที่เจริญอยู่ในน้ำ (Colony Forming Units, CFU) และสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of determination) ของสมการถดถอยสำหรับแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด มีค่าเท่ากับ 0.68, 0.92 และ 0.17 ตามลำดับ ส่วนคุณลักษณะของน้ำใต้ดินที่ใช้ในการทดลองนี้จะพิจารณาจากสารเคมี 9 ชนิด ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) คลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรท (NO_3) ฟอสเฟต (PO_4) กำมะถัน (S) และไฮโดรเจนคาร์บอเนต

Cavalier, Lavy, & Mattice (1991) ศึกษาการตกค้างของยาฆ่าแมลงในตัวอย่างน้ำใต้ดิน โดยวิเคราะห์ผลจากการตรวจสอบสารเคมีทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ คลอโรอะซิทามีน (Chloroacetamide) อะลาคลอร์ (Alachlor) เมโทลาคลอร์ (Metolachlor) โปรปานิล (Propanil) หรือฟีนอกซี 2.4-D และไดคลอร์พรอพ (Dichlorprop) ด้วยสัมประสิทธิ์การกำหนด ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (เดือน) และสารเคมีไดคลอร์พรอพให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.898 โดยทำการเก็บข้อมูลที่อุณหภูมิ 22 $^{\circ}$C ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและสารเคมีอะลาคลอร์ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.644 โดยทำการเก็บข้อมูลที่อุณหภูมิ 15 $^{\circ}$C

ประจวบ แก้วเขียว (2536) ศึกษาการบำบัดน้ำบาดาลที่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูง บริเวณหมู่ที่ 5 ตำบลหนองหญ้า อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการวิเคราะห์ทางเคมี ด้วยค่าความกระด้าง (Hardness) ความเป็นด่าง (Alkalinity) ปริมาณแคลเซียม ปริมาณแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ผลการศึกษาพบว่าน้ำบาดาลที่มีค่าความกระด้างสูง ได้แก่ น้ำกระด้างชนิดชั่วคราวที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต และถ้าน้ำบาดาลมีความกระด้างของน้ำต่ำแล้ว จะมีการนำไฟฟ้ามาก

Das, Sahoo, & Sinha (2002) ศึกษามลพิษของน้ำใต้ดินในเขตเมือง Cuttack ของประเทศอินเดีย จำนวน 60 จุด โดยการจุ่มท่อโลหะที่มีความลึก 8-12 เมตร แล้วเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำใต้ดินในเดือนมกราคม พฤษภาคม และกันยายน ในช่วงปี ค.ศ. 1997-1998 จากนั้นทำการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้าและพารามิเตอร์ทั้ง 12 ตัว ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solids) การนำไฟฟ้า ฟลูออไรด์ (F) แอมโมเนีย (NH_3) ไนเตรท ฟอสเฟต ซัลเฟต ความกระด้างทั้งหมด ((Total Hardness as $CaCO_3$) แคลเซียม และแมกนีเซียม ผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้าและปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้มีค่ามากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ

0.976 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้าและความเป็นกรด-ด่างของคลอไรด์ (pH-Cl) มีค่าน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.019

Logan & Lapoint (2002) ศึกษาการรักษาน้ำใต้ดินซึ่งปนเปื้อนเปอร์คลอเรต ไนเตรท และกลุ่มก๊าซด้วยเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพซึ่งการย่อยสลายของเปอร์คลอเรตสามารถตรวจสอบด้วยห้องปฏิบัติการทางเคมีเท่านั้น ส่วนในกรณีที่ไม่มีไนเตรทปนเปื้อนในน้ำใต้ดินจะพิจารณาจากอัตราการกำจัดเปอร์คลอเรตในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีความเข้มข้น $r_p = 0.16 \pm 0.06c^{0.97\pm0.12}$ ($n = 11, R^2 = 0.97, p < 10^{-5}$) ผลการศึกษาพบว่าอัตราการกำจัดเปอร์คลอเรตในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยจะมีค่าเฉลี่ยของอัตราการกำจัดเปอร์คลอเรตในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพเป็น 25±5% แต่ถ้ามีเปอร์คอลเรตปนเปื้อนในน้ำใต้ดินจะมีค่า 73±2 ส่วนในพันล้านส่วน (part per billion: ppb.) และถ้าหากมีไนเตรทปนเปื้อนด้วยจะมีค่า 21±2 ส่วนในล้านส่วน (part per million: ppm.) โดยมีการกำจัดเปอร์คลอเรตสูงขึ้นเป็น 17±3% ซึ่งสามารถใช้ค่าดังกล่าวตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินได้

Muñoz-Carpena, Ritter, & Li (2005) ศึกษาการวิเคราะห์ปัจจัยไดนามิคจากแนวโน้มคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำนายความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำผิวดินและคุณภาพน้ำใต้ดินเมื่อมีฝนตก ผลการวิเคราะห์ปัจจัยไดนามิคพบว่าความเข้มข้นในน้ำใต้ดินทางเคมีภาพทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ $N\text{-}NO_3^-$, $P\text{-}PO_4^{-3}$ และ Total P ได้รับผลกระทบจากอิทธิพลด้วยตัวแปรเดียวกันคือ การชะล้างของน้ำฝน ปริมาณน้ำฝนจึงเป็นเป็นกลไกหลักในการอธิบายคุณภาพน้ำใต้ดินซึ่งสรุปผลได้ว่าระดับความเข้มข้นสูงของสารเคมีในน้ำใต้ดินสามารถลดลงได้โดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำทางเคมีของภูมิภาคเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฝนตก

Raju (2006) ศึกษาการประเมินผลงานตามฤดูกาลของพารามิเตอร์ทางเคมีของน้ำ ได้แก่ โพแทสเซียม (K) สื่อกระแสไฟฟ้าที่เฉพาะเจาะจง โซเดียม แมกนีเซียม คลอไรด์ ซัลเฟต และไฮโดรเจนคาร์บอเนต โดยทำการตรวจสอบสารเคมีในน้ำก่อนและหลังฤดูมรสุมทางตอนบนของลุ่มแม่น้ำ Gunja naeru ของประเทศอินเดีย ผลการประเมินพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างสื่อกระแสไฟฟ้าที่เฉพาะเจาะจง และพารามิเตอร์ทางเคมีของน้ำมีค่าเป็นบวกอย่างมีนัยสำคัญทุกตัว ยกเว้น โพแทสเซียม และ $Ca^{2+} + Mg^{2+} / Na^+ + K^+$ ที่มีค่าเป็นลบอย่างมีนัยสำคัญ

Joarder, Raihan, Alam, and Hasanuzzaman (2008) ศึกษาวิเคราะห์คุณภาพของน้ำใต้ดินซึ่งได้จากพื้นที่ในเมือง Sunamgani ของประเทศบังกลาเทศ ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้าและตัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพน้ำจำนวน 10 ตัว ได้แก่ ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ การนำไฟฟ้า แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟต คลอไรด์ เหล็ก ไนเตรท ฟลูออไรด์ และความเป็นกรด-ด่าง สำหรับการตรวจสอบสมการถดถอยว่ามีความเหมาะสมหรือไม่นั้น จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดที่มีการปรับค่า (Adjusted coefficient of determination: R^2_{adj}) ผลการศึกษาพบว่าสามารถนำการนำไฟฟ้าไปใช้พยากรณ์แคลเซียมและไนเตรท โดยมีสมการถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดที่มีการปรับค่าดังนี้

สมการถดถอยที่ใช้พยากรณ์แคลเซียม คือ

$$Ca = -6.7 + 0.12336EC; \quad R^2_{adj} = 0.869$$

สมการถดถอยที่ใช้พยากรณ์ไนเตรท คือ

$$NO_3 = 4.014 + 0.00356EC; \quad R^2_{adj} = 0.881$$

จึงอาจกล่าวสรุปได้ว่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกันสามารถนำมาใช้พยากรณ์ตัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพน้ำได้อย่างแม่นยำ ถูกต้อง และเหมาะสม

Daraigan, Wahdain, Ba-Mosa, & Obid (2011) ศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดินในเมือง Al-Mukalla ของประเทศเยแมน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากบ่อน้ำบาดาลจำนวน 21 บ่อซึ่งตรวจสอบสารเคมีของน้ำ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความขุ่น (Turbidity) ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ การนำไฟฟ้า แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟต คลอไรด์ เหล็ก ไนเตรท แมงกานีส (Mn) ฟลูออไรด์ ความกระด้างทั้งหมด และความกระด้างถาวร (Non-carbonate Hardness as $CaCO_3$) โดยใช้สมการถดถอยเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสารเคมีแต่ละคู่และดูค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากสมการถดถอย ผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้าและปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้มีค่ามากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.999 โดยได้สมการถดถอยดังนี้

$$TDS = 0.6402(EC) - 0.5211$$

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและหาตัวแปรซึ่งเป็นสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำ โดยเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อการแบ่งกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล
2. เพื่อทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการทำวิจัยระหว่างนักวิจัยร่วมองค์กรและเตรียมความพร้อมของนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาเข้าสู่การเป็นนักวิจัยรุ่นใหม่

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ โดยมีตัวแปรอิสระซึ่งเป็นคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีจำนวน 21 ตัว ได้แก่ ความลึกของบ่อน้ำบาดาล (Depth) การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ความเป็นกรด-ด่าง (PH) แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) โซเดียม (Sodium) โพแทสเซียม (Potassium) เหล็ก (Iron) แมงกานีส (Manganese) ทองแดง (Copper) สังกะสี (Zinc) ซัลเฟต (Sulfate) คลอไรด์ (Chlorine) คาร์บอเนต (Carbonate) ไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Hidrogen Carbonate) ฟลูออไรด์ (Fluorine) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide) ไนเตรท (Nitrate) ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as $CaCO_3$) ความกระด้างถาวร (Non-carbonate Hardness as $CaCO_3$) และปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solids) ซึ่งจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในการตรวจวัดคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกในปี พ.ศ. 2555 จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยทำการเลือกบ่อน้ำบาดาลที่เป็นตัวแทนจากจังหวัดชลบุรีและระยอง เนื่องจากเป็นจังหวัดในภาคตะวันออกที่มีทั้งพื้นที่เขตอุตสาหกรรมและเขตชนบท

1.5 แนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลว่ามีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้บริโภคหรือไม่นั้น จะต้องมีการตรวจสอบคุณลักษณะทั้ง 4 ด้าน คือ

1. การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ เป็นการตรวจสอบที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือสามารถดมกลิ่นได้ คือ สี (Color) ความขุ่น (Turbidity) และความเป็นกรด-ด่าง มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้จะต้องมีคุณลักษณะทางกายภาพ (ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
สี	5 (หน่วยแพลทินัม-โคบอลต์)	15 (หน่วยแพลทินัม-โคบอลต์)
ความขุ่น	5 (หน่วยความขุ่น)	20 (หน่วยความขุ่น)
ความเป็นกรด-ด่าง	7.0-8.5	6.5-9.2

2. การตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมี เป็นการตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่อยู่ในน้ำซึ่งจะต้องตรวจสอบด้วยเครื่องมือเฉพาะเท่านั้น ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) ซัลเฟต (SO_4) คลอไรด์ (Cl) ฟลูออไรด์ (F) ไนเตรท (NO_3) ความกระด้างทั้งหมด (TH) ความกระด้างถาวร (NH) และปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้จะต้องมีคุณลักษณะทางเคมี (ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางเคมีของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
เหล็ก	ไม่เกิน 0.5	1.0
แมงกานีส	ไม่เกิน 0.3	0.5
ทองแดง	ไม่เกิน 1.0	1.5
สังกะสี	ไม่เกิน 5.0	15
ซัลเฟต	ไม่เกิน 200	250
คลอไรด์	ไม่เกิน 250	600
ฟลูออไรด์	ไม่เกิน 0.7	1.0
ไนเตรท	ไม่เกิน 45	45
ความกระด้างทั้งหมด	ไม่เกิน 300	500
ความกระด้างถาวร	ไม่เกิน 200	250
ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้	ไม่เกิน 600	1,200

3. การตรวจสอบคุณลักษณะที่เป็นพิษ เป็นการตรวจสอบสารที่มีพิษซึ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ได้แก่ สารหนู (Arsenic: AS) ไซยาไนด์ (Cyanide: CN) ตะกั่ว (Lead: Pb) ปรอท (Mercury: Hg) แคดเมียม (Cadmium: Cd) และซีลีเนียม (Selenium: Se) โดยจะต้องไม่พบสารพิษเหล่านี้อยู่ในน้ำ มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้จะต้องมีคุณลักษณะที่เป็นพิษ (ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะที่เป็นพิษของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
สารหนู	ต้องไม่มี	0.05
ไซยาไนด์	ต้องไม่มี	0.10
ตะกั่ว	ต้องไม่มี	0.05
ปรอท	ต้องไม่มี	0.001
แคดเมียม	ต้องไม่มี	0.01
ซีลีเนียม	ต้องไม่มี	0.01

4. การตรวจสอบคุณลักษณะทางบัคเตรี/แบคทีเรีย เป็นการตรวจสอบแบคทีเรียและอีโคไลที่มีอยู่ในน้ำ มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้จะต้องมีคุณลักษณะทางบัคเตรี/แบคทีเรีย (ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551) แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางบัคเตรี/แบคทีเรียของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม
Standard plate count	ไม่เกิน 500 โคโลนีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
Most probable number of Coliform organism (MPN)	น้อยกว่า 2.2 ต่อร้อยลูกบาศก์เซนติเมตร
E. coli	ต้องไม่มี

ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลว่ามีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้หรือไม่นั้นทำได้โดยนำค่าที่ได้จากการตรวจสอบคุณลักษณะทั้ง 4 ด้านของน้ำบาดาลในแต่ละบ่อไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ตามตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

แต่เนื่องจากในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลนั้นจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญเฉพาะด้าน อีกทั้งยังต้องใช้เครื่องมือเฉพาะสำหรับตรวจสอบคุณภาพน้ำซึ่งสารเคมีในน้ำบางชนิดก็ทำการตรวจสอบได้ง่าย แต่สารเคมีในน้ำบางชนิดก็ทำการตรวจสอบได้ยาก เช่น การตรวจสอบคลอไรด์ของน้ำบาดาลด้วยวิธีอาเจนโต-เมตริก (Argentometric) สามารถตรวจสอบได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการทางเคมีเท่านั้น และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญเฉพาะด้านเพื่อให้ได้ค่าคลอไรด์ของน้ำบาดาลมีความถูกต้องแม่นยำ (กรมวิชาการเกษตร, 2550) ดังนั้นในการตรวจสอบค่าคลอไรด์ของน้ำบาดาลจึงทำได้โดยต้องส่งตัวอย่างน้ำไปห้องปฏิบัติการทางเคมีเท่านั้น ซึ่ง

ไม่สามารถตรวจสอบได้เองเพราะเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจหาค่าคลอไรด์ของน้ำบาดาลมีราคาสูงและใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบนาน

การวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์เป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติหลายตัวแปร (Multivariate statistical analysis) ที่มีข้อดีคือเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอยู่บนพื้นฐานของข้อสมมุติเชิงสถิติ (Statistical assumption) ซึ่งตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทำนายตัวแปรตามอาจมีความสัมพันธ์กัน แต่เนื่องจากตัวแปรซึ่งเป็นปริมาณสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำมีอยู่เป็นจำนวนมาก และตัวแปรเหล่านี้อาจมีความสัมพันธ์เชิงสถิติ (Statistical relation) กันและยังอาจมีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำบาดาล ดังนั้นการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์จึงเป็นการแก้ปัญหาการเกิดพหุสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรอิสระ (Multicollinearity) และน่าจะทำให้การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เป็นองค์ความรู้สำหรับการวิจัยต่อไปในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออก หรือภาคอื่น ๆ ของประเทศไทยที่มีการขุดน้ำบาดาลมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงตัวแปรซึ่งเป็นสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำที่มีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำบาดาล
2. บริการความรู้แก่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
3. เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารในระดับประเทศและ/หรือนานาชาติ

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย “การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์” มีดังนี้

2.1 คำอธิบายข้อมูล

น้ำบาดาลที่ใช้เป็นตัวแทนในการตรวจวัดคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้เป็นน้ำบาดาลจากบ่อน้ำบาดาลซึ่งอยู่ในจังหวัดชลบุรีและระยอง ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในปี พ.ศ. 2555 จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมีตัวแปรตามคือกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลซึ่งจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน (กลุ่ม 0) มีจำนวน 249 บ่อ เป็นน้ำบาดาลที่มีคุณลักษณะทางเคมีไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ โดยจะมีปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ไม่เป็นไปตามตารางที่ 2
2. กลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน (กลุ่ม 1) มีจำนวน 67 บ่อ เป็นน้ำบาดาลที่มีคุณลักษณะทางเคมีเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ โดยจะมีปริมาณสารเคมีต่าง ๆ เป็นไปตามตารางที่ 2

ส่วนตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลซึ่งเป็นตัวแปรคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีจำนวน 21 ตัว มีดังนี้

1. ความลึกของบ่อ (Depth) มีหน่วยเป็นเมตร
2. การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) มีหน่วยเป็นไมโครซีเมนส์/เซ็นติเมตร
3. ความเป็นกรด-ด่าง (PH)
4. แคลเซียม (Calcium: Ca) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
5. แมกนีเซียม (Magnesium: Mg) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
6. โซเดียม (Sodium: Na) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
7. โพแทสเซียม (Potassium: K) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
8. เหล็ก (Iron: Fe) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
9. แมงกานีส (Manganese: Mn) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
10. ทองแดง (Copper: Cu) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
11. สังกะสี (Zinc: Zn) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
12. ซัลเฟต (Sulfate: SO_4) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
13. คลอไรด์ (Chlorine: Cl) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
14. คาร์บอเนต (Carbonate: CO_3) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
15. ไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Hidrogen Carbonate: HCO_3) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
16. ฟลูออไรด์ (Fluorine: F) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
17. ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide: NO_2) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
18. ไนเตรท (Nitrate: NO_3) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร

19. ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as $CaCO_3$: TH) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
20. ความกระด้างถาวร (Non-carbonate Hardness as $CaCO_3$: NH) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร
21. ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solids: TDS) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม/ลิตร

2.2 การประเมินค่าตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล

ในการประเมินค่าตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในจังหวัดชลบุรีนั้นทำได้โดยศึกษารูปแบบของตัวแปรอิสระแต่ละตัวด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด

2.3 การกำหนดตัวแปรอิสระที่สำคัญในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล

เนื่องจากมีตัวแปรอิสระอยู่เป็นจำนวนมากในน้ำบาดาลที่มีความสำคัญและส่งผลต่อคุณภาพของน้ำบาดาล อีกทั้งตัวแปรอิสระเหล่านี้ยังอาจมีความสัมพันธ์เชิงสถิติกันอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์การวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) โดยพิจารณาจากสถิติทดสอบวิลค์แลมป์ดา (Wilk's lamda) เพื่อกำหนดตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญและสามารถใช้จำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล

2.4 การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์

เมื่อได้ตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญและสามารถใช้จำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลจากขั้นตอนที่ 2.3 แล้วจะนำตัวแปรอิสระทั้งหมดนี้ไปสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์ (Discriminant model) ด้วยวิธีทีละขั้นตอน (Stepwise) เพื่อทำนายว่าน้ำบาดาลที่ใช้อยู่นั้นมีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้หรือไม่ ซึ่งในการสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์นั้นจะต้องมีการตรวจสอบว่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance matrices) ของประชากรระหว่างกลุ่มของคุณภาพของน้ำบาดาลทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเท่ากันหรือไม่ ด้วยสถิติทดสอบของบอกซ์เอ็ม (Box's M) ถ้าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากรระหว่างกลุ่มของคุณภาพของน้ำบาดาลทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเท่ากันแล้ว จะสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์ได้โดยพิจารณาคะแนนดิสคริมิแนนต์เชิงเส้น (Linear discriminant score) หรือการใช้ฟังก์ชันดิสคริมิแนนต์เชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's linear discriminant function) แต่ถ้าหากว่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากรระหว่างกลุ่มของคุณภาพของน้ำบาดาลทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่เท่ากันแล้ว จะสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์ได้โดยพิจารณาคะแนนดิสคริมิแนนต์กำลังสอง (Quadratic discriminant score)

2.5 การประเมินค่าการทำนายคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์

เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบดิสคริมิแนนต์ในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลซึ่งสร้างขึ้นได้จากขั้นตอนที่ 2.4 ว่ามีความถูกต้องและแม่นยำมากน้อยเพียงใด โดยจะพิจารณาจากทั้งชุดของข้อมูลสำหรับการสร้างตัวแบบ (Training data set) และชุดของข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Validation data set) โดยใช้เกณฑ์อัตราการจำแนกถูก (Correct classification rate: CCR) ซึ่ง El-Sebakhy, Hadi & Faisal (2007) และ Oh & Ritchie (2007) กล่าวว่าอัตราการจำแนกถูกเป็นเกณฑ์อย่างหนึ่งที่นิยมใช้กันมากโดยมีนิยามดังนี้

$$CCR = \frac{\sum_{k=0}^{C-1} CC_k}{n}$$

โดยที่ CC_k เป็นจำนวนของค่าสังเกตที่จำแนกกลุ่มให้กับกลุ่มที่ k ได้ถูกต้อง
และ n เป็นจำนวนของค่าสังเกตทั้งหมดที่อยู่ในกลุ่มที่ k

ถ้าอัตราการจำแนกถูกยิ่งมีค่ามากเท่าใด หมายความว่าตัวแบบดิสคริมิแนนต์ที่ได้ยิ่งสามารถทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลได้ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น

บทที่ 3
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ มีผลการวิจัย 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ผลการประเมินค่าตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล

เมื่อประเมินค่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในจังหวัดชลบุรีด้วยสถิติเชิงพรรณนา คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum) จะได้รูปแบบของตัวแปรอิสระแต่ละตัวแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รูปแบบของตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในจังหวัดชลบุรี

Variable	Group of Ground Water	Mean	Standard Deviation	Maximum	Minimum
Depth	0	35.04	35.36	1.00	150.0
	1	32.15	34.87	2.36	150.0
EC	0	1299.00	3942.00	6.79	32700.0
	1	239.80	176.00	12.00	700.0
PH	0	7.31	4.36	3.10	75.0
	1	6.75	0.83	4.60	8.4
Ca	0	63.39	111.63	0.00	1100.0
	1	23.21	24.12	0.00	110.0
Mg	0	37.37	128.58	0.00	1400.0
	1	5.16	4.67	0.00	23.0
Na	0	198.20	749.40	4.00	6200.0
	1	16.60	15.58	4.00	86.0
K	0	16.63	55.25	0.20	610.0
	1	5.05	3.24	0.40	16.0
Fe	0	**5.91**	21.41	0.00	300.0
	1	0.14	0.14	0.00	0.5
Mn	0	**1.11**	2.09	0.00	19.0
	1	0.07	0.10	0.00	0.3
Cu	0	0.01	0.05	0.00	0.5
	1	0.04	0.05	0.00	0.1

ตารางที่ 5 รูปแบบของตัวแปรอิสระที่จะใช้ทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในจังหวัดชลบุรี (ต่อ)

Variable	Group of Ground Water	Mean	Standard Deviation	Maximum	Minimum
Zn	0	0.58	3.71	0.00	49.0
	1	0.18	0.65	0.00	5.0
SO_4	0	79.10	254.50	0.00	2100.0
	1	8.93	15.33	1.00	80.0
Cl	0	**361.60**	1454.10	1.50	12000.0
	1	18.14	16.65	1.50	88.0
CO_3	0	0.07	0.79	0.00	11.0
	1	0.69	3.98	0.00	30.0
HCO_3	0	224.20	405.90	0.00	5700.0
	1	92.60	93.00	2.00	343.0
F	0	**1.09**	1.63	0.40	15.0
	1	0.41	0.05	0.40	0.7
NO_2	0	0.37	3.36	0.00	45.0
	1	0.03	0.04	0.00	0.3
NO_3	0	13.21	29.55	0.30	240.0
	1	12.81	13.44	0.90	45.0
TH	0	**323.40**	798.30	10.00	6600.0
	1	78.92	70.11	3.70	290.0
NH	0	163.30	668.00	0.00	5200.0
	1	13.49	20.01	0.00	96.0
TDS	0	**864.00**	2572.00	15.00	21300.0
	1	154.30	113.70	8.00	455.0

จากตารางที่ 5 พบว่ากลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน (กลุ่ม 0) มีลักษณะโดยทั่วไปคือมีความลึกเฉลี่ย 35.04 เมตร ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 1,299 ไมโครซีเมนส์/เซ็นติเมตร ค่า PH เฉลี่ย 7.31 และมีตัวแปรอิสระที่มีคุณลักษณะทางเคมีไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้อยู่ 6 ตัว คือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) คลอไรด์ (Cl) ฟลูออไรด์ (F) ความกระด้างทั้งหมด (TH) และปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)

ส่วนกลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน (กลุ่ม 1) มีลักษณะโดยทั่วไปคือมีความลึกเฉลี่ย 32.15 เมตร ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 239.80 ไมโครซีเมนส์/เซ็นติเมตร ค่า PH เฉลี่ย 6.75 และมีตัวแปรอิสระที่มีคุณลักษณะทางเคมีเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้โดยมีค่าเฉลี่ยของเหล็ก (Fe) เท่ากับ 0.14 ค่าเฉลี่ยของแมงกานีส (Mn) เท่ากับ 0.07 ค่าเฉลี่ยของทองแดง (Cu) เท่ากับ 0.04 ค่าเฉลี่ยของสังกะสี (Zn) เท่ากับ 0.18 ค่าเฉลี่ยของซัลเฟต (SO_4) เท่ากับ 8.93 ค่าเฉลี่ยของคลอไรด์ (Cl) เท่ากับ 18.14 ค่าเฉลี่ยของฟลูออไรด์ (F) เท่ากับ 0.41 ค่าเฉลี่ยของไนเตรท (NO_3) เท่ากับ 12.81 ค่าเฉลี่ยของความกระด้าง

ทั้งหมด (TH) เท่ากับ 78.92 ค่าเฉลี่ยของความกระด้างถาวร (NH) เท่ากับ 13.49 และปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) เท่ากับ 154.3

3.2 ผลการกำหนดตัวแปรอิสระที่สำคัญในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล

เมื่อพิจารณาสถิติวิลค์แลมป์ดาเพื่อกำหนดตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญและสามารถใช้จำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล ได้ผลแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล

Variable	Wilk's lambda	F	df1	df2	P-value
Depth	.999	.355	1	314	.552
EC	**.985**	4.827	1	314	**.029**
PH	.996	1.118	1	314	.291
Ca	**.973**	8.554	1	314	**.004**
Mg	**.987**	4.193	1	314	**.041**
Na	**.988**	3.927	1	314	**.048**
K	.991	2.937	1	314	.088
Fe	**.985**	4.852	1	314	**.028**
Mn	**.950**	16.407	1	314	**.000**
Cu	**.967**	10.778	1	314	**.001**
Zn	.998	.756	1	314	.385
SO_4	**.984**	5.074	1	314	**.025**
Cl	.988	3.729	1	314	.054
CO_3	**.983**	5.271	1	314	**.022**
HCO_3	**.978**	6.933	1	314	**.009**
F	**.965**	11.458	1	314	**.001**
NO_2	.998	.712	1	314	.399
NO_3	1.000	.011	1	314	.915
TH	**.980**	6.256	1	314	**.013**
NH	.989	3.360	1	314	.068
TDS	**.984**	5.081	1	314	**.025**

จากตารางที่ 6 พบว่าตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญและสามารถใช้ในการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลได้มีทั้งหมด 13 ตัว ได้แก่ การนำไฟฟ้า (EC) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) ซัลเฟต (SO_4) คาร์บอเนต (CO_3) ไฮโดรเจนคาร์บอเนต (HCO_3) ฟลูออไรด์ (F) ความกระด้างทั้งหมด (TH) และปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) ซึ่งพิจารณาได้จาก p-value ของสถิติวิลค์แลมป์ดามีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น p-value ของสถิติวิลค์แลมป์ดาของตัวแปรอิสระใดที่มีค่ามากกว่า 0.05 จึงควรถูกตัดทิ้งไป

3.3 ผลการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์

เมื่อทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญและสามารถใช้จำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลได้จากตัวแปรอิสระทั้งหมด 13 ตัว เพื่อนำไปสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์ด้วยวิธีทีละขั้นตอน (Stepwise) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การคัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธีทีละขั้นตอน

		Wilks' lambda							
						Exact F			
Step	Enter	Statistic	df1	df2	df3	Statistic	df1	df2	p-value
1	Mn	.950	1	1	314.000	16.407	1	314.000	.000
2	Cu	.908	2	1	314.000	15.813	2	313.000	.000
3	F	.874	3	1	314.000	15.019	3	312.000	.000
4	Fe	.850	4	1	314.000	13.722	4	311.000	.000
5	CO_3	.830	5	1	314.000	12.723	5	310.000	.000

จากตารางที่ 7 พบว่าตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญและสามารถใช้จำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลซึ่งถูกคัดเลือกด้วยวิธีทีละขั้นตอน เพื่อนำไปสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์ในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลมีจำนวน 5 ตัว ได้แก่ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ฟลูออไรด์ (F) และคาร์บอเนต (CO_3) ซึ่งพิจารณาได้จาก p-value ของสถิติวิลค์แลมป์ดาที่มีค่าน้อยกว่า 0.05

จากนั้นทำการตรวจสอบการมีพหุสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Multicollinearity) ทั้ง 5 ตัวนี้ ซึ่งได้ผลแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การทดสอบการมีพหุสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ

Variable	Coefficient	Standard Error	t	p-value	VIF
Fe	-.004	.001	-3.016	.003	1.442
Mn	-.037	.012	-3.117	.002	1.169
Cu	2.451	.495	4.956	.000	1.257
CO_3	.030	.011	2.751	.006	1.010
F	-.056	.014	-3.857	.000	1.007

จากตารางที่ 8 พบว่าค่า VIF ของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) คาร์บอเนต (CO_3) และฟลูออไรด์ (F) มีค่าน้อยกว่า 10 จึงแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัวนี้ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ดังนั้นตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญหรือมีอิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลที่จะนำไปสร้างสมการจำแนกเพื่อทำนายหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลมี 5 ตัว คือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) คาร์บอเนต (CO_3) และฟลูออไรด์ (F)

เมื่อทำการตรวจสอบความเท่ากันของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากรระหว่างกลุ่มของคุณภาพของน้ำบาดาลทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า p-value ของสถิติทดสอบของบอกซ์เอ็มมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกัน จึงควรสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์โดยพิจารณาจากคะแนนดิสคริมิแนนต์กำลังสอง

แต่อย่างไรก็ตาม Marks & Dunn (1974) แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากรกลุ่มหนึ่งจะมีค่ามากกว่าของประชากรอีกกลุ่มหนึ่งเป็นจำนวนเท่ามาก ๆ แล้วก็ตาม ผลการใช้คะแนนดิสคริมิแนนต์กำลังสองจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักกับการใช้ฟังก์ชันดิสคริมิแนนต์เชิงเส้นของฟิชเชอร์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์เชิงเส้นในการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล สำหรับสถิติที่ใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของฟังก์ชันการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัวนั้น จะใช้สถิติวิลค์แลมป์ดา ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สถิติวิลค์แลมป์ดาของการทดสอบความมีนัยสำคัญของฟังก์ชันการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล

Wilks' Lambda				
Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	p-value
1	.830	58.142	5	.000

จากตารางที่ 9 พบว่า p-value ของสถิติวิลค์แลมป์ดามีค่า ≈0 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงแสดงให้เห็นว่าควรใช้ตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัว คือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) คาร์บอเนต (CO_3) และฟลูออไรด์ (F) ในการแบ่งกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล

ส่วนฟังก์ชันดิสคริมิแนนต์เชิงเส้นสำหรับการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลออกเป็น 2 กลุ่ม เป็นดังนี้

<u>กลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน</u>:

$$\hat{Y}_0 = -1.192 + .003Fe + .311Mn + 3.575Cu - .012CO_3 + .537F$$

เมื่อ $\hat{Y}_0$ เป็นคะแนนการทำนายหรือพยากรณ์ค่าสำหรับกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน

<u>กลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน:</u>

$$\hat{Y}_1 = -1.169 - .026Fe + .043Mn + 21.148Cu + .201CO_3 + .137F$$

เมื่อ $\hat{Y}_1$ เป็นคะแนนการทำนายหรือพยากรณ์ค่าสำหรับกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน

3.4 ผลการประเมินค่าการทำนายคุณภาพของน้ำบาดาลด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบดิสคริมิแนนต์ในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลว่ามีความถูกต้องและแม่นยำมากน้อยเพียงใด ด้วยอัตราการจำแนกถูก (CCR) จากทั้งชุดของข้อมูลสำหรับการสร้างตัวแบบและชุดของข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการประเมินค่าการทำนายหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาล

ข้อมูลถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม	ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ	
	ข้อมูลอยู่ในกลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่	
	ไม่ได้มาตรฐาน	ได้มาตรฐาน
คุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน	222	40
คุณภาพน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน	27	27
จำนวนค่าสังเกตทั้งหมดในกลุ่ม	249	67
CCR	0.8916	0.4029
Average of CCR	0.7880	
ข้อมูลถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม	ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ	
	ข้อมูลอยู่ในกลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่	
	ไม่ได้มาตรฐาน	ได้มาตรฐาน
คุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน	222	40
คุณภาพน้ำบาดาลที่ ได้มาตรฐาน	27	27
จำนวนค่าสังเกตทั้งหมดในกลุ่ม	249	67
CCR	0.8916	0.4029
Average of CCR	0.7880	

จากตารางที่ 10 พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการจำแนกถูกของตัวแบบดิสคริมิแนนต์สำหรับการทำนายและประเมินค่าคุณภาพน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยจะให้ผลการทำนายหรือพยากรณ์กลุ่มได้ถูกต้อง 78.80% ทั้งข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบและข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

บทที่ 4
บทสรุป

4.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัย “การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์” สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

1. บ่อน้ำบาดาลในภาคตะวันออกที่มีคุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน มีลักษณะโดยทั่วไปคือมีความลึกเฉลี่ย 35.04 เมตร ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 1,299 ไมโครซีเมนส์/เซ็นติเมตร ค่า PH เฉลี่ย 7.31 และมีตัวแปรอิสระที่มีคุณลักษณะทางเคมีไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้อยู่ 6 ตัว คือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) คลอไรด์ (Cl) ฟลูออไรด์ (F) ความกระด้างทั้งหมด (TH) และปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)

2. เมื่อพิจารณาสถิติทดสอบวิลค์แลมป์ดาพบว่าตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญและสามารถใช้ในการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลได้มีทั้งหมด 13 ตัว ได้แก่ การนำไฟฟ้า (EC) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) ซัลเฟต (SO_4) คาร์บอเนต (CO_3) ไฮโดรเจนคาร์บอเนต (HCO_3) ฟลูออไรด์ (F) ความกระด้างทั้งหมด (TH) และปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) และเมื่อทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่จะนำไปสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์ด้วยวิธีทีละขั้นตอนจากตัวแปรทั้งหมดเหล่านี้พบว่ามีตัวแปรอิสระเพียง 5 ตัวที่ถูกนำไปใช้ในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล คือ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ฟลูออไรด์ (F) และคาร์บอเนต (CO_3)

4. ฟังก์ชันดิสคริมิแนนต์เชิงเส้นสำหรับการจำแนกกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลออกเป็น 2 กลุ่ม เป็นดังนี้

<u>กลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน</u>:

$$\hat{Y}_0 = -1.192 + .003Fe + .311Mn + 3.575Cu - .012CO_3 + .537F$$

เมื่อ $\hat{Y}_0$ เป็นคะแนนการทำนายหรือพยากรณ์ค่าสำหรับกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลที่ไม่ได้มาตรฐาน

<u>กลุ่มคุณภาพน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน:</u>

$$\hat{Y}_1 = -1.169 - .026Fe + .043Mn + 21.148Cu + .201CO_3 + .137F$$

เมื่อ $\hat{Y}_1$ เป็นคะแนนการทำนายหรือพยากรณ์ค่าสำหรับกลุ่มคุณภาพของน้ำบาดาลที่ได้มาตรฐาน

5. ตัวแบบดิสคริมิแนนต์ที่สร้างขึ้นสามารถประเมินค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยได้ดี ซึ่งเห็นได้จากค่าเฉลี่ยอัตราการจำแนกถูกมีค่าค่อนข้างสูงคือมีค่าเท่ากับ 78.80% จากทั้งข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบและข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

4.2 อภิปรายผลการวิจัย

ผลที่ได้จากงานวิจัย “การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์” สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ตัวแปรอิสระที่ถูกนำไปสร้างตัวแบบดิสคริมิแนนต์เพื่อทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลมีจำนวน 5 ตัว คือ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ฟลูออไรด์ (F) และคาร์บอเนต (CO_3) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกันกับเมื่อทำการตรวจสอบลักษณะทั่วไปของบ่อน้ำบาดาลในภาคตะวันออกด้วยสถิติเชิงพรรณนาแล้วพบว่ามีปริมาณของแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และฟลูออไรด์ (F) ที่มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด จึงสามารถนำผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลให้ดีขึ้น โดยให้มีปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ในน้ำมีคุณลักษณะทางเคมีเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้เพื่อสุขลักษณะอนามัยที่ดีของชุมชนในภาคตะวันออก

2. สามารถใช้ตัวแบบดิสคริมิแนนต์เป็นเครื่องมือช่วยในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลแทนการตรวจสอบปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ในน้ำที่ต้องมีการตรวจสอบได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการทางเคมีเท่านั้น อีกทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณสารเคมีเหล่านี้ยังมีราคาแพงและต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญเฉพาะด้านอีกด้วย

3. สามารถใช้งานวิจัยนี้เป็นเครื่องชี้แนะหรือข้อแนะนำในการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ ในการทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาล เช่น ตัวแบบข่ายงานระบบประสาท เป็นต้น

4. สามารถขยายผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้โดยนำตัวแบบดิสคริมิแนนต์ไปทำนายหรือพยากรณ์ค่าคุณภาพของน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ในจังหวัดอื่น ๆ ของประเทศไทยได้

5. สามารถนำผลที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้กับกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5
ผลผลิต

5.1 การตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการ

Mekparyup, J., & Saithanu, K. (201X). Prediction of Groundwater Quality in the East of Thailand with Discriminant Analysis Method. *Interventional Medicine & Applied Science, X*(X), xxx-xxx.

5.2 การจดสิทธิบัตร

ไม่มี

5.3 ผลงานเชิงพาณิชย์

ไม่มี

5.4 ผลงานเชิงสาธารณะ

เป็นองค์ความรู้สำหรับการวิจัยต่อไปในการใช้ตัวแบบดิสคริมิแนนต์เป็นเครื่องมือช่วยตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลแทนการตรวจสอบปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ในน้ำที่สามารถตรวจสอบได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการทางเคมีเท่านั้น อีกทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณสารเคมีเหล่านี้ยังมีราคาแพงและต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญเฉพาะด้านอีกด้วย โดยสามารถขยายพื้นที่ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลไปยังภูมิภาคอื่น ๆ ของประเทศไทยที่มีการใช้น้ำบาดาลได้

รายงานสรุปการเงิน
เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย 2559A10802112 สัญญาเลขที่ 81/2559
โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ การทำนายค่าคุณภาพของน้ำบาดาลในภาคตะวันออกของประเทศไทย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ดิสคริมิแนนต์ (Prediction of Groundwater Quality in the East of Thailand with Discriminant Analysis Method)
ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ผศ.ดร.จตุภัทร เมฆพายัพ
รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2559
ระยะเวลาในการดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2558 – 30 กันยายน พ.ศ. 2559

รายรับ

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%)	99,000 บาท	เมื่อวัน เดือน ปี	23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558
งวดที่ 2 (40%)	79,200 บาท	เมื่อวัน เดือน ปี	19 เมษายน พ.ศ. 2559
งวดที่ 3 (10%)	_____ บาท	เมื่อวัน เดือน ปี	_____
รวม	178,200 บาท	(หนึ่งแสนเจ็ดหมื่นแปดพันสองร้อยบาทถ้วน)	

รายจ่าย

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน
๑. ค่าตอบแทน	30,000.00	30,000.00	0.00
๒. ค่าจ้าง	26,600.00	26,600.00	0.00
๓. ค่าวัสดุ	85,400.00	85,400.00	0.00
๔. ค่าใช้สอย	41,000.00	41,000.00	0.00
๕. ค่าครุภัณฑ์	15,000.00	15,000.00	0.00
๖. ค่าธรรมเนียมอุดหนุนสถาบัน	22,000.00	22,000.00	0.00
รวม	220,000.00	220,000.00	0.00

(_____)
ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. (2550). *ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำ*. วันที่ค้นข้อมูล 1 เมษายน 2557, เข้าถึงได้จาก http://it.doa.go.th

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2551. (2551, 21 พฤษภาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. หน้า 7-18.

ประจวบ แก้วเขียว. (2536). ศึกษาการบำบัดน้ำบาดาลที่มีปริมาณแคลเซี่ยมคาร์บอเนตสูง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31 สาขาคหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร เศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ ศึกษาศาสตร์ มนุษยศาสตร์ การจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม 3-6 กุมภาพันธ์ 2536.

ไพจิตร์ วราชิต. (2550). *ปัญหา น้ำดื่ม ปนเปื้อน สารเคมี-โลหะหนัก-จุลินทรีย์*, วันที่ค้นข้อมูล 28 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.clinicdek.com

วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2556). *น้ำบาดาล*. วันที่ค้นข้อมูล 23 ตุลาคม 2557, เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%9A%E0%B8%B2%E0%B8%94%E0%B8%B2%E0%B8%A5

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี. (2553). *น้ำบาดาล*. วันที่ค้นข้อมูล 25 กุมภาพันธ์ 2559, เข้าถึงได้จาก http://secondsci.ipst.ac.th/index.php?option= com_content&view= article&id =216: 2010-11-01-09-23-13&catid=19:2009-05-04-05-01-56&Itemid=34

Bitton, G., Farrah, S. R., Ruskin, R. H., Butner, J., & Chou, Y. J. (1983). Survival of pathogenic and indicator organisms in ground water. *Ground water*, *21*(4), 405-410.

Cavalier, T. C., Lavy, T. L., & Mattice, J. D. (1991). Persistence of Selected Pesticides in Ground-Water Samples. *Ground Water*, *29*(2), 225-231.

Daraigan, S. G., Wahdain, A. S., Ba-Mosa, A. S., & Obid, M. H. (2011). Linear correlation analysis study of drinking water quality data for Al-Mukalla City, Hadhramout, Yemen. *International Journal of Environmental Sciences*, *1*(7), 1692-1701.

Das, J., Sahoo, R. K., & Sinha, B. K. (2002). Urban Ground Water Pollution: A Case Study in Cuttack City, India. *Ground Water Monitoring and Remediation, 22*(3)*,* 95-103.

Joarder, M. A. M., Raihan, F., Alam, J. B., & Hasanuzzaman, S. (2008). Regression Analysis of Ground Water Quality Data of Sunamganj District, Bangladesh. *Environmental Sciences Jagangirnagar, 2*(3)*,* 291-296.

Logan, B. E., & LaPoint, D. (2002). Treatment of perchlorate-and nitrate-contaminated groundwater in an autotrophic, gas phase, packed-bed bioreactor. *Water Research*, *36*(14), 3647-3653.

Marks, S., & Dunn, O. J. (1974). Discriminant functions when covariance matrices are unequal. *Journal of the American Statistical Association*, *69*(346), 555-559.

Muñoz-Carpena, R., Ritter, A., & Li, Y. C. (2005). Dynamic factor analysis of groundwater quality trends in an agricultural area adjacent to Everglades National Park. *Journal of Contaminant Hydrology*, *80*(1), 49-70.

Raju, N. J. (2006). Seasonal evaluation of hydro-geochemical parameters using correlation and regression analysis. *Current Science, 91*(6)*,* 820-827.

Steele, T. D. (1976). A BIVARIATE-REGRESSION MODEL FOR ESTIMATING CHEMICAL COMPOSITION OF STREAMFLOW OR GROUNDWATER/Modèle de régression bivarié pour l'évaluation de la composition chimique de l'écoulement total ou des eaux souterraines. *Hydrological Sciences Journal*, *21*(1), 149-161.