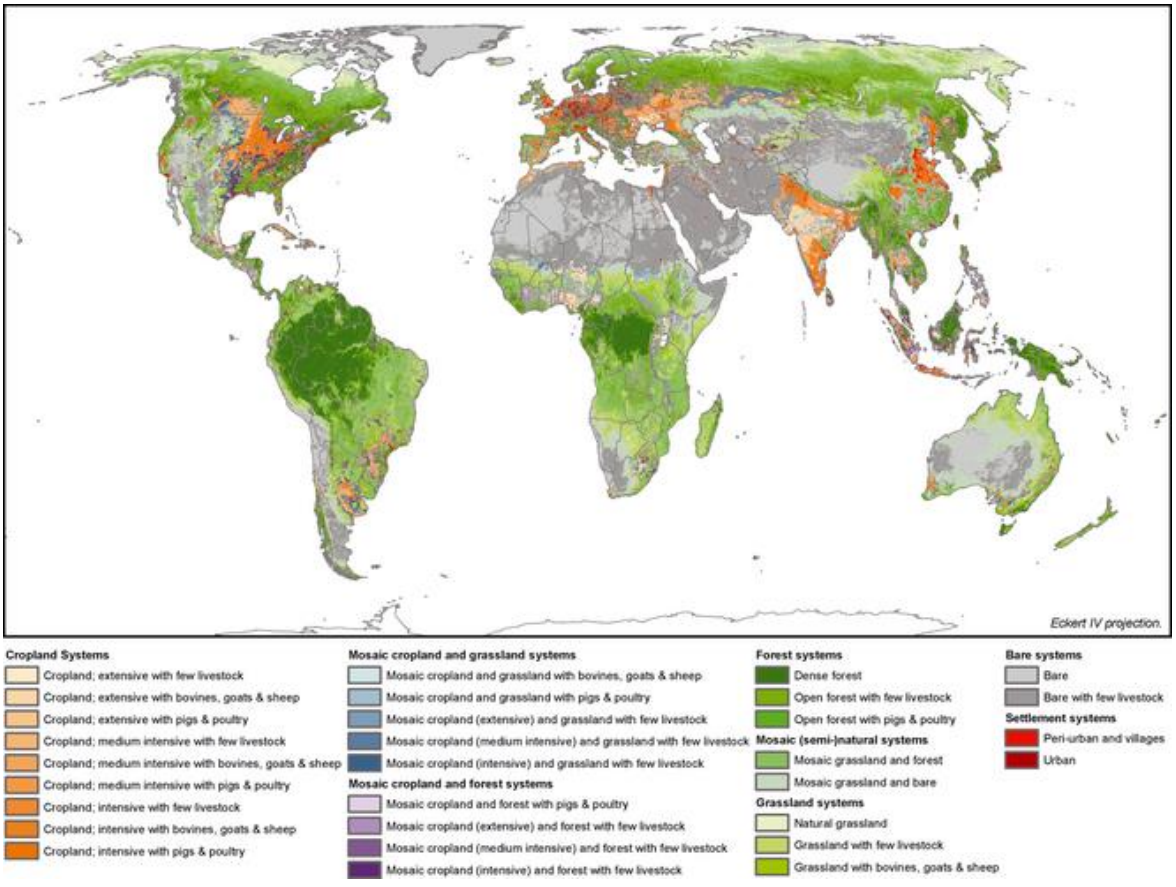
GREATER MEKONG SUBREGION
CORE ENVIRONMENT PROGRAM

UNIVERSITY AMSTERDAM

The CLUMondo Land Use Change Model

คู่มือการใช้โปรแกรมและแบบฝึกหัด



แปลโดย
ยงยุทธ ไตสุรัตน์
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธันวาคม 2558

CLUMondo คือแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเชิงพื้นที่ ที่เป็นพลวัต การพัฒนาแบบจำลองสำหรับผู้ใช้งาน ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากธนาคารพัฒนาเอเชีย ภายใต้โครงการสิ่งแวดล้อมอนุภาคลุ่มน้ำโขง (Greater Mekong Subregion Core Environment Program (CEP): http://www.gms-eoc.org ; http://portal.gms-eoc.org ส่วนการปรับปรุงแบบจำลองให้ทันสมัย ได้รับการสนับสนุนจาก CEP. และคณะกรรมการวิจัยของสหภาพยุโรป (European Research Council) ภายใต้แผนงาน European Union's Seventh Framework Programme ERC Grant Agreement nr. 311819 (GLOLAND) ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

- แบบจำลอง CLUMondo พัฒนาโดย Peter Verburg
- ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ เช่น เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ (User Interface) พัฒนาโดย RIKS ประเทศเนเธอร์แลนด์
- คู่มือต้นฉบับภาษาอังกฤษ เขียนโดย Jasper van Vliet and Malek (แปลโดย ยงยุทธ ไตรสุรัตน์๗
- ข้อมูลตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ โดย Christine Ornetsmuller

แบบจำลอง CLUMondo เป็นโปรแกรมที่ไม่มีลิขสิทธิ์ทางการค้า ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากคู่มือ

สารบัญ

1 คำนำ 1

2 The CLUMondo Model 1

2.1 ความเป็นมา 1

2.2 โครงสร้างของแบบจำลอง CLUMondo 2

2.2.1 นโยบายด้านพื้นที่และเขตหวงห้าม 4

2.2.2 การกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 4

2.2.3 ความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดิน 5

2.2.4 ลักษณะของพื้นที่ หรือทเหมาะสมของที่ดิน 6

2.2.5 กระบวนการจัดสรรที่ดินตามความต้องการ (Allocation procedure) 7

3 กรณีศึกษา 9

3.1 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน 9

3.2 ปัจัยด้านพื้นที่ (Location Factors) ใช้ปัจจัยต่างๆในพื้นที่ 10

3.3 ภาพเหตุการณ์อนาคต (Scenario data) 11

4 การเตรียมคอมพิวเตอร์ และการใช้ GIS 12

4.1 เตรียมคอมพิวเตอร์ 12

4.2 GIS Software 13

4.3 ติดตั้งโปรแกรม Map Comparison Kit 14

5 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน CLUMondo (แบบฝึกหัด) 16

5.1 เริ่มใช้งาน CLUMondo 16

5.2 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งานและฟังก์ชั่นหลัก 16

5.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของโปรแกรมประยุกต์ (Applications characteristics) 17

5.2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) 18

5.2.3 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Model parameters) 19

5.3 เริ่มต้นการจำลอง (Start of a simulation) 20

5.4 เสร็จสิ้นการจำลอง (End of the simulation) 21

5.5 การแสดงและเปรียบเทียบผลการจำลอง (Display and compare simulation results) 21

6 การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Simulating land use change scenarios; แบบฝึกหัด) 28

6.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดภาพเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน 28
6.1.1 ค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง (Conversion resistance parameters) 29
6.1.2 เมตริกซ์ (ตาราง) การเปลี่ยนแปลง (Conversion matrix) 31
6.1.3 ภาพเหตุการณ์ (Scenario parameters) 34
7 การจำลองนโยบายเชิงพื้นที่ (Simulating Spatial policies) 38
7.1 การเพิ่มชั้นข้อมูลพื้นที่หวงห้าม (Exclusion layers) 38
7.2 พื้นที่หวงห้ามอื่น ๆ (Other exclusion areas) 39
8 การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) (แบบฝึกหัด) 40
9 การสร้างโครงการหรือ Application ใหม่ (แบบฝึกหัด) 43
ขั้นตอนที่1: เริ่มต้นที่การสร้างโครงการใหม่ (a new CLUMondo simulation project) 43
ขั้นตอนที่2: การแก้ไขรายละเอียดของโครงการ (Application characteristics) 46
ขั้นตอนที่3: การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติก 50
ขั้นตอนที่4: การกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ของแบบจำลอง และภาพเหตุการณ์ในอนาคต (model parameters and scenarios) 51
ขั้นตอนที่ 5: การประมวลผล (Run) แบบจำลองและการแสดงผล 54
เอกสารอ้างอิง 56

1 คำนำ

เอกสารชุดนี้เป็นคู่มือสำหรับการเรียนรู้แบบจำลอง CLUMondo เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยตนเอง เพื่อใช้งานกับแบบจำลอง CLUMondo ร่วมกับซอฟแวร์ Geonamica ดังนั้น มีส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ และชุดคำสั่งที่เหมือนกัน คู่มือฉบับนี้ ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนแรก เป็นการอธิบายโครงสร้างหลักของแบบจำลองและส่วนประกอบจ่าง ๆ

ส่วนที่สอง เป็นกรณีศึกษาจากสาธารณประชาติไตยประชาชนลาว

ส่วนที่สาม อธิบายข้อมูลพื้นฐานและวิธีการใช้ GIDS ก่อนและหลังการจำลองของข้อมูลนำเข้า (input) และข้อมูลที่ได้รับ (output)

ส่วนที่สี่ ประกอบด้วยแบบฝึกหัด เพื่อให้ผู้ใช้แบบจำลองใช้ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ และคำสั่ง ในแต่ละขั้นตอนการทำงาน ซึ่งมีระดับความยากเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้น แนะนำให้ทำแบบฝึกหัดทั้งหมดตามลำดับ

2 The CLUMondo Model

2.1 ความเป็นมา

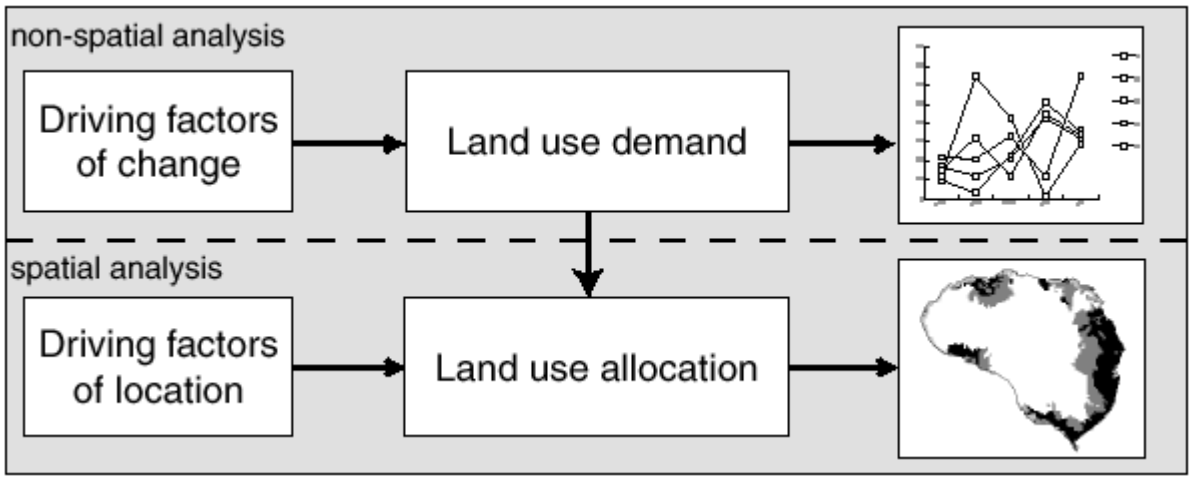
CLUMondo model เป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบพลวัตเชิงพื้นที่ และเป็นรุ่น (version) ล่าสุด ของแบบจำลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Conversion of Land Use and its Effects modelling framework or CLUE) (Verburg et al., 1999) โดยทั่วไป แบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงปะเภทของสิ่งปกคลุมดิน เช่น ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม และสิ่งปลูกสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจำนวนมาก ไม่ได้พิจารณาปัจจัยด้านความเหมาะสมของพื้นที่ และความเข้มข้นของการใช้ที่ดิน เช่น การใช้พื้นที่การเกษตรแบบเบาบางกับการใช้พื้นที่อย่างเข้มข้น ที่อยู่อาศัยที่มีความหนาแน่นน้อยกับที่อยู่อาศัยแออัด (อพาทเม้นต์) ในการใช้ประโยชน์ที่ดินหลายแห่ง ไม่ใช่เป็นการใช้ประโยชน์หรือลักษณะปกคลุมดินเพียงประเภทเดียว เช่น บ้านเรือนในชนบทส่วนใหญ่มักมีพื้นที่เกษตรกรรม และ/หรือพื้นที่เลี้ยงปศุสัตว์ปะปน เป็นต้น ดังนั้น การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็นแต่ละประเภท จึงไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง

แบบจำลอง CLUMondo ได้ถูกออกแบบให้สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ความเข้มข้นของการใช้ที่ดิน และสามารถสะท้อนบทบาทหน้าที่ของที่ดินได้ ในขั้นตอนทำงาน แบบจำลองจะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสมของศักยภาพพื้นที่ซึ่งเป็นพลวัต รายละเอียดการพัฒนาแบบจำลอง CLUE และ CLUEMondo สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Eitelberg et al., 2015; van Asselen and Verburg, 2013; Verburg et al., 2002; Verburg and Veldkamp, 2004.

2.2 โครงสร้างของแบบจำลอง CLUMondo

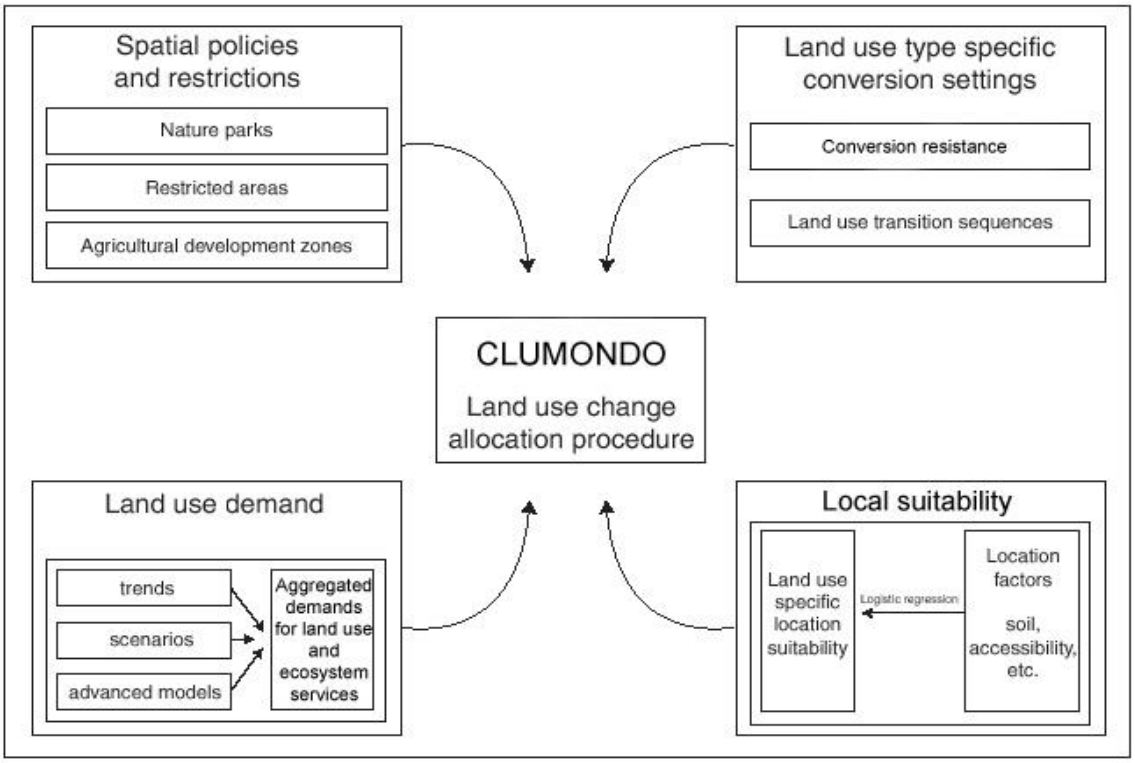
แบบจำลอง CLUMondo ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกไม่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ (non-spatial demand modules) และส่วนที่สองเกี่ยวข้องกับพื้นที่ (spatially explicit allocation modules) ดังภาพที่ 1 องค์ประกอบที่ไม่เกี่ยวกับพื้นที่ ประกอบด้วยความต้องการการใช้ที่ดินในภาพรวมครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจเป็นขนาดของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท หรือปริมาณสินค้าและบริการ (goods and services) เช่น ขนาดของพื้นที่อยู่อาศัย (แฮคแตร์) และความต้องการปริมาณอาหาร (ตัน) ตามลำดับ ในขั้นตอนการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ความต้องการดังกล่าว จะถูกจัดสรรไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของที่ดิน ในแผนที่ตารางกริด

การกำหนดความต้องการการใช้ที่ดิน สามารถดำเนินการได้ที่ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (user interface) ซึ่งข้อมูลดังกล่าว โดยข้อมูลดังกล่าว อาจได้มาจากการวิเคราะห์อย่างง่าย ๆ เช่น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเหมือนในอดีต หรือการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน เช่น การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น โดยความต้องการจะระบุเป็นรายปี ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ศึกษา หรือภาพเหตุการณ์ในอนาคต



ภาพที่1. ขั้นตอนแบบจำลองเบื้องต้น

การจัดสรรความต้องการการใช้ประโยชน์ที่ดิน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังภาพที่ 2 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ปัจจัย คือ 1) นโยบายที่ดินและพื้นที่หวงห้าม (spatial policies and restrictions) 2) ความยากง่ายในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแต่ละประเภท (land use type specific conversion settings) 3) ความต้องการการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use requirements or demand) และ 4) คุณลักษณะของพื้นที่(location characteristics) ปัจจัยแต่ละตัว สามารถอธิบายได้ ดังนี้



ภาพที่2. ปัจจัยที่ใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2.2.1 นโยบายด้านพื้นที่และเขตหวงห้าม

นโยบายด้านพื้นที่และเขตหวงห้าม เป็นการกำหนดว่าการช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใด หรือพื้นที่ใดเป็นพื้นที่หวงห้าม ยกตัวอย่างเช่น นโยบายการแบ่งเขตการใช้ที่ดิน หรือสิทธิกกรครอบครองที่ดิน ซึ่งในแบบจำลอง Clumodo จะแสดงขอบเขตพื้นที่ตามตามนโยบายเหล่านี้ไว้ในแผนที่ นโยบายด้านพื้นที่บางครั้งอาจครอบคลุมการใช้ประโยชน์ที่ดินทุกประเภทในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เช่น การกำหนดเขตห้ามทำไม้ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ เป็นต้น ซึ่จะถูกกำหนดไว้ในแผนที่ ในบางกรณี นโยบายการช้ที่ดิน ครอบคลุมเฉพาะการใช้ที่ดินบางประเภท เช่น พื้นที่อยู่อาศัยสามารถดำเนินการได้เฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่เกษตรกรรมสามารถขยายพื้นทีได้เฉพาะแนวกันชนในป่าสงวนแห่งชาติ เป็นต้น ซึ่งการกำหนดเงื่อนไขบางประเภทสามารถดำเนินการได้ในตารางการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (conversion matrix)

2.2.2 การกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน แสดงพฤติกรรมของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย ประกอบด้วย ความยากง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง (conversion resistance) และ ลำดับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (land-use transition sequences) ความยากง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวข้องกับความสมารถในการฟื้นฟู การใช้ประโยชน์ที่ดินบางประเภท เปลี่ยนแปลงยาก ยกเว้นมีความต้องการอย่างมาก เนื่องจากใช้เงินในการลงทุนสูง ยกตัวอย่างเช่น ที่อยู่อาศัยและไม้ยืนต้นรือไม้ผลทางเกษตร แต่การใช่ประโยชน์ที่ดินบางประเภท สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เนื่องจากมีความเหมาะสมของที่ดินและมีความต้องการ ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่เกษตรกรรม สามารถเปลี่ยนเป็นที่อยู่อาศัย และพื้นที่เกษตรกรรม มีการขยายไปยังพื้นที่ป่ากันชน หรือไร่เลื่อนลอย โดยทั่วไปมีการใช้ประโยชนีไม่เกิน 2 ครั้ง เนื่องจากขดธาตุอาหาร เป็นต้น ซึ่งพฤติกรรมการใช้ที่ดินแต่ละประเภทมักเกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่าย ทั้งนี้ ความยากง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง มีค่าระหว่าง 0 (เปลี่ยนแปลงได้ง่าย) และ 1 (ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได) ซึ่งการกำหนดค่าเหล่านี้ จะกำหนดโดยใช้ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ หรือการสังเกตในพื้นที่จริง

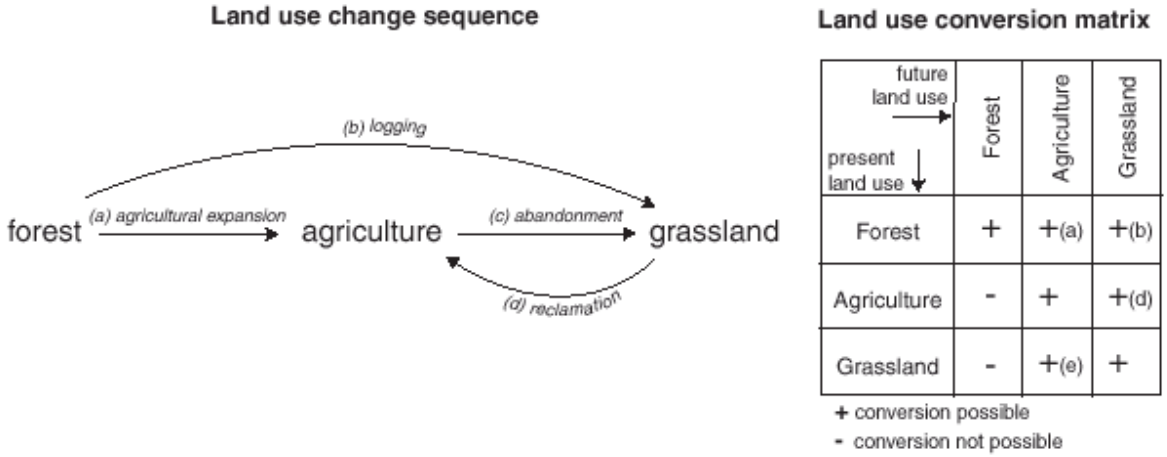
ปัจจัยที่สองเกี่ยวข้องลำดับการเปลี่ยนของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ซึ่งจะระบุไว้นตารางลำดับการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

- การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใด สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ประเภทใด

ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (ภาพที่ 3)

- บริเวณใดของพื้นที่ศึกษา สามารถเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ บริเวณใดห้ามมีการเปลี่ยนแปลง (เขตหวงห้าม)
- ต้องใช้เวลากี่ปี (ช่วงเวลา) ที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใดประเภทหนึ่ง ในที่ใดที่หนึ่งจะเหมือนเดิม ก่อนเปลี่ยนเป็นประเภทอื่น ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงจากที่โล่งเ ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นป่าสมบูรณ์ได้ในเวลา 1 ปี แต่ใช้เวลาในการทดแทนหลายปี จากที่โล่งเป็นป่ารุ่นสอง และป่าสมบูรณ์ ตามลำดับ
- จำนวนปีมากที่สุดที่สามารถใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใดประเภทหนึ่งในพื้นที่เดิม ยกตัวอย่างเช่น การทำการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอย ไม่สามารถดำเนินการในพื้นที่เดิมได้ตลอด เนื่องจากการสูญเสียธาตุอาหารในดิน และการรุกรานของวัชพืช เป็นต้น

การระบุจำนวนปีน้อยที่สุดหรือมากที่สุด สามารถดำเนินการได้ที่ตารางกำหนดการเปลี่ยนแปลง (conversion matrix) ซึ่งในการจำลองการเปลี่ยนประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปัจจัยต่าง ๆ เช่น จำนวนปี การแข่งขันระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดิน และความเหมาะสมของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ถูกนำมาพิจารณาด้วยกัน ดังภาพที่ 3 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 3 ประเภท



ภาพที่3. แสดงขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

2.2.3 ความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ความต้องการใช้ที่ดิน จะระบุเป็นภาพรวมของพื้นที่ศึกษา แยกตามแต่ละภาพเหตุการณ์ (scenario) สำหรับแบบจำลอง CLUMondo จะกำหนดแต่ละประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น จำนวนกริด เฮคแตร์ หรือตาราง

กิโลเมตร หรือจำนวนตัน จำนวนตัวของปศุสัตว์ จำนวนหลังคาเรือน เป็นต้น ความต้องการใช้ที่ดิน เป็นปัจจัยสำคัญของแบบจำลอง เนื่องจากจะกำหนดว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินสามารถเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด โดยการประเมินแยกอิสระจากแบบจำลอง CLUMondo ซึ่งสามารถคำนวณได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับ พื้นที่ศึกษาและภาพเหตุการณ์ ยกตัวอย่างเช่น การประเมินจากอัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีต การเพิ่มขึ้นของประชากร และหรือความต้องการใช้ทรัพยากร หรือการวิเคราะห์เศรษฐกิจในระดับมหาภาค เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้ที่ดิน เป็นต้น

2.2.4 ลักษณะของพื้นที่ หรือท่เหมาะสมของที่ดิน

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่เหมาะสมมากที่สุดของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน ซึ่งสามารถประมินได้จากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้สมการ ดังนี้

$$R_{ki} = C + a_k X_{1i} + b_k X_{2i} + ...$$

โดย R_{ki} = พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภท k

C = ค่าคงที่

$X_{1, 2,...}$ = ตัวแปรทางด้านกายภาพชีวภาพ เศรษฐกิจและสังคม

ak และ bk = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภท k

ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินข้างต้น สามารถใช้สมการทางสถิติถดถอยโลจิสติค ในการวิเคราะห์ว่า ณ พื้นที่ I เหมาะสมหรือไม่เหมาะสมในการเปลี่ยนเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดิน k โดยพิจารณาจากค่า Rki แต่อย่างไรก็ตาม ค่า Rki ไม่สามารถสำรวจหรือวัดได้โดยตรง แต่เป็นค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากการคำนวณ ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างการปรากฏของการใช้ที่ดินกับปัจจัยด้านกายภาพ ชีวภาพ เศรฐกิจ และสังคม ซึ่งสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$Log\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} ..... + \beta_n X_{n,i}$$

Pi = ความน่าจะเป็นของการใช้ที่ดินในตารางกริด I

Xi =ปัจจัยด้านพื้นที่

β_n = ค่าสหสัมพันธ์ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติค

การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติค คล้ายกับวิธีทางเศรษฐศาสตร์ (Econometric analysis) ทั่วไป เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการทำลายป่า กล่าวคือ เป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนสูงสุด ในการเลือกใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร โดพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ

ในพื้นที่ศึกษา แบบจำลองจะวิเคราะห์ว่าพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเหมาะสม (suitable) กับการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด โดยปัจจัยที่บ่งบอกความเหมาะสม ประกอบด้วย ผลตอบแทนด้านการเงิน วัฒนธรรม ความคุ้นเคย และปัจจัยด้านคุณลักษณะของที่ดินอื่น ๆ ในการจัดสรรที่ดิน

ปัจจัยด้านพื้นที่หลายปัจจัย มีความสัมพันธ์หรือแตกต่างกันในภูมิทัศน์ เช่น คุณลักษณะของดิน ความสูง แต่อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจการจัดการหรือการใช้ที่ดิน ณ ที่ใดที่หนึ่ง ไม่ได้พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านพื้นที่อย่างเดียว แต่พิจารณาเงื่อนไขอื่น ๆ ควบคู่ไปด้วย เช่น ที่ตั้งของครังเรือน บทบาทชุมชน และระบบการปกครองในท้องถิ่น ทั้งนี้ เพราะปัจจัยดังกล่าว มีผลต่อการเข้าถึงพื้นที่ ความใกล้-ไกลจากตลาด รวมทั้งความความต้องการใช้ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย หากมีประชากรหนาแน่น พื้นที่จะมีจำเป็นต่อการอยู่อาศัยมากกว่าการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร ถึงแม้ว่าจะมีความเหมาะสมทางศักยภาพของที่ดินก็ตาม

2.2.5 กระบวนการจัดสรรที่ดินตามความต้องการ (Allocation procedure)

เมื่อจัดเตรียมข้อมูลเรียบร้อย แบบจำลอง CLUMondo จะดำเนินการประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในแต่ละช่วงเวลา) รายปี (ดังภาพที่ 4 โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน สรุปได้ ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 แบบจำลองจะพิจารณาว่า พื้นที่ใด (ตารางกริด) สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้เนื่องจาก บางตารางกริดตั้งอยู่ในพื้นที่อนุรักษ์ หรือพื้นที่หวงห้ามที่ถูกกำหนดว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตามนโยบายด้านพื้นที่ (spatial policy) หรือการใช้ประโยชน์ที่ดินบางประเภท ที่ได้ระบุในตารางการเปลี่ยนแปลง (conversion matrix) ว่าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
- ในแต่ละตารางกริด (i) ณ เวลา t แบบจำลองคำนวณความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลง ($Ptran_{t,i,LU}$) ของแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LU) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตร ดังนี้

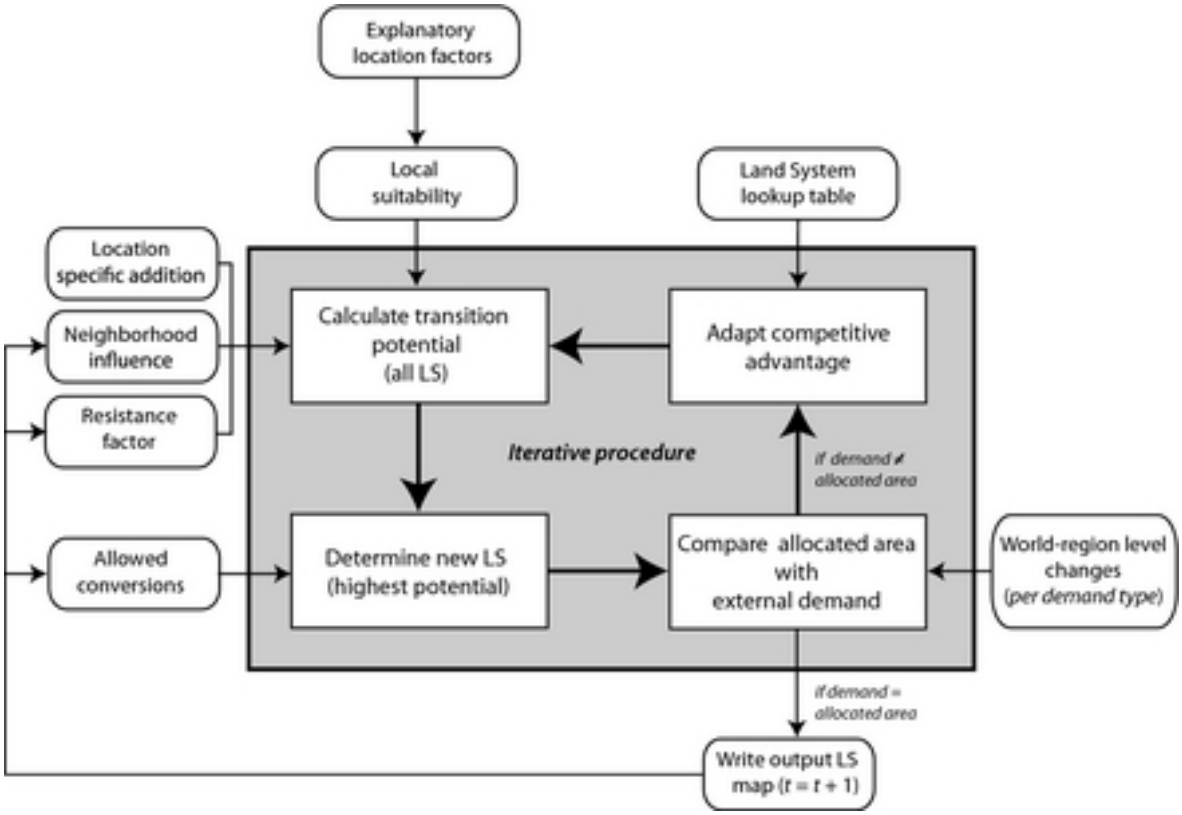
$$Ptran_{t,i,LU} = Ploc_{t,i,LU} + Pres_{LU} + Pcomp_{t,LU}$$

โดย $Ploc_{t,i,}LU$ คือความเหมาะสมของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LU) ณ ตำแหน่ง i (ได้จากสมการถดถอย), $Pres_{LU}$ คือ ความต้านทานต่อการ

เปลี่ยนแปลง (conversion resistance) เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท LU และ Pcomp $_{t,LU}$ ค่าปัจจัยการทำซ้ำ (iteration variable) ของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ซึ่งบ่งบอกค่าความทนทานสัมพัทธ์ของการใช้ที่ดิน โดยค่า Pres $_{LU}$ จะพิจารณาเฉพาะ ตารางกริดที่เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภท LU ในปีที่คำนวณการเปลี่ยนแปลง.

- การจัดสรรที่ดิน จะเกิดขึ้นเมื่อ ค่าปัจจัยการทำซ้ำ (iteration variable) ของการใช้ที่ดินทุกประเภท Pcomp t,LU) เท่ากัน และดำเนินการในตารางกริดที่มีค่าความน่าจะเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในตารางกิรด หรือการใช้ประโยชน์ที่ดินที่กำหนดห้ามเปลี่ยนแปลง.
- พื้นที่ หรือสินค้าและบริการ (goods and services) ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด จะนำไปเปรียบเทียบกับความต้องการที่ดิน (land-use demand) หากยังมีปริมาณน้อยหว่าความต้องการ ค่าปัจจัยการทำซ้ำ (iteration variable) จะมีค่าสูงขึ้นเพื่อให้มีโอกาสหรือความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น ในทางตรงข้าม ค่าปัจจัยการทำซ้ำ (iteration variable) จะน้อยลง เมื่อมีพื้นที่ใกล้เคียงกับความต้องการ ดังนั้น ในระหว่างการวิเคราะห์ข้อมูล อาจเป็นไปได้ว่า ค่าปัจจัยการทำซ้ำ (iteration variable) มีความสำคัญในการจัดสรรที่ดินมากกว่าค่าความเหมาะสมของที่ดิน ซึ่งได้จากสมการถดถอย ซึ่งถูกกำหนดโดยความต้องการการใช้ที่ดิน ดังนั้น กระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จะพิจารณาทั้งจากล่างขึ้นบน (bottom-up) โดยความเหมาะสมที่ดิน และจากบนลงล่าง (top-down) ตามความต้องการที่ดิน

ขั้นตอนที่ 2- 4 จะดำเนินการซ้ำ ๆ จนกระทั่ง การจัดสรรที่ดิน ครบตามความต้องการใช้ที่ดิน สินค้าและบริการ แผนที่การใช้ที่ดินจะถูกบันทึก และนำมาคำนวณเพิ่มเติมในขั้นตอนต่อไป อนึ่ง พื้นที่การใช้ที่ดินบางประเภท ที่ได้จัดสรรให้มีการเปลี่ยนแปลง ไม่สามารถฟื้นฟูหรือกลับมาเหมือนเดิมได้อีก แต่บางประเภทสามารถเปลี่ยนกลับมาได้ ทั้งนี้ กระบวนการจัดสรรที่ดิน มีความซับซ้อน และมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง

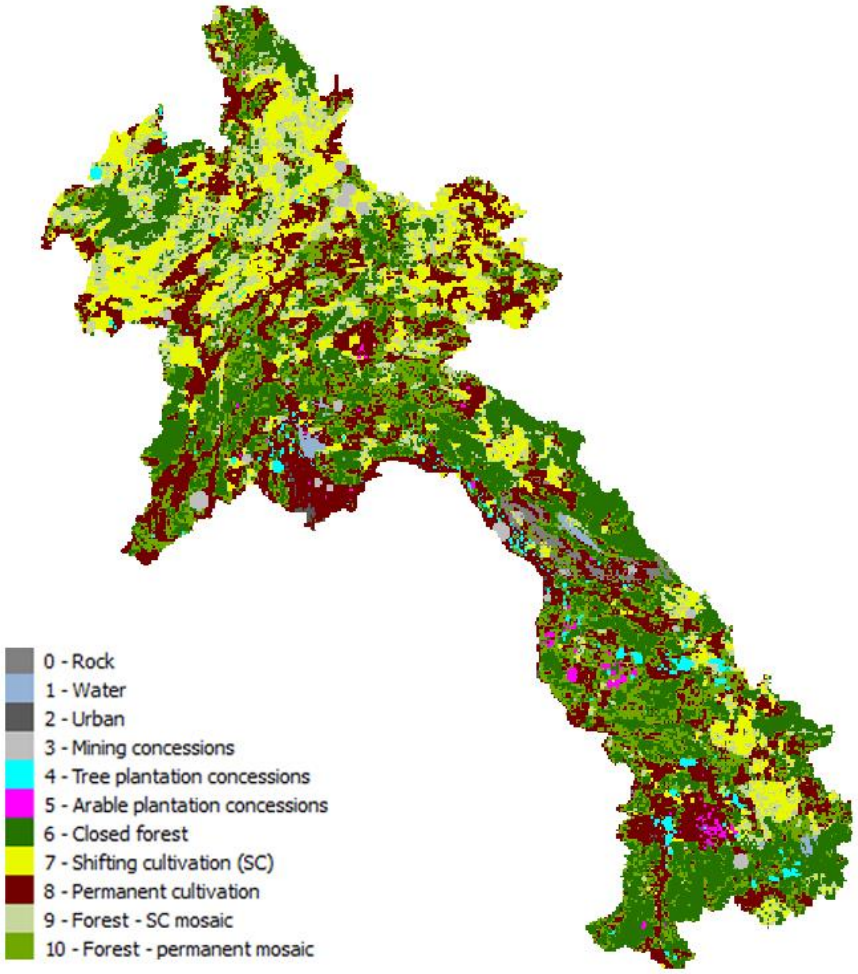


ภาพที่4. กระบวนการจัดสรรที่ดินโดยแบบจำลอง CLUMondo

3 กรณีศึกษา

3.1 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ในแบบฝึกหัด ได้นำแบบจำลอง CLUMOndo จำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ประเทศลาว ใน ปี คศ. 2010 ซึ่งจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 10 ประเภท ดังภาพที่ 5



ภาพที่5. แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเทศลาว ปี คศ. 2010

3.2 ปัจจัยด้านพื้นที่ (Location Factors) ใช้ปัจจัยต่างๆในพื้นที่

นอกจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามข้างต้น ได้ดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลแผนที่ศึกษาหลายชั้นข้อมูล) ตารางที่ 1) ซึ่งใช้เป็นปัจจัยในการวิเคราะห์บความเหมาะสมของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท โดยข้อมูลแผนที่ดังกล่าว จะบันทึกเป็น sc1gr*.fil files และจัดเก็บในแฟ้มข้อมูล (simulation directory) โดย * หมายถึงหมายเลขของปัจจัยด้านพื้นที่

ตารางที่ *1.* ปัจจัยด้านพื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล *Cat* หมายถึงปัจจัยเชิงคุณภาพ *(categorical variables (*เช่น การพบ หรอไม่พบ) และ *Num* หมายถึง ปัจจัยเชิงปริมาณหรือตัวเลข *(numerical variables).*

รหัส	ประเภทType	ชื่อปัจจัย	คำอธิบาย
0	Cat	w_3_ab2k	ระยะทางจากแหล่งน้ำ มากกว่า 2 km

1	Num	access	ระยะทางถึงหมู่บ้าน
2	Num	access_dom	ระยะทางถึงตลาดในท้องถิ่น
3	Num	access_int	ระยะทางถึงตลาดต่างประเทศ (สนามบิน ด่านชายแดน)
4	Cat	contractp	หมู่บ้านที่ทำสัญญาข้อตกลงด้านการค้า (contract farming)
5	Num	popdensity	ความหนาแหน่นของประชากร
6	Num	slope	ความลาดชันเฉลี่ย (2x2 km)
7	Num	elevation	ความสูงเฉลี่ย (mean of 2x2 km)
8	Num	precipitation	ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย
9	Num	temperature	อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี
10	Cat	awc_1	ความสามารถในการดูดยึดน้ำของดิน (FAO class 1: 150 mm/m)
11	Cat	awc_4	ความสามารถในการดูดยึดน้ำของดิน (FAO class 4: 75 mm/m)
12	Cat	awc_5	ความสามารถในการดูดยึดน้ำของดิน (FAO class 5: 50 mm/m)
13	Cat	drain4	การระบายน้ำของดิน (soil drainage FAO class 4: moderately well)
14	Num	t_clay	ปริมาณอนุภาคดินเหนียวในชั้นดินบน (%)
15	Num	s_clay	ปริมาณอนุภาคดินเหนียวในชั้นดินล่าง (%)
16	Num	t_gravel	ปริมาณกรวดในชั้นดินบน (%)%
17	Num	toc_4	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในชั้นดินบน (FAO class 4: 1.2 – 2.0 %)
18	Cat	w_2_un2k	ระยะทางถึงแหล่งน้ำน้อยกว่า 2 km

3.3 ภาพเหตุการณ์อนาคต (Scenario data)

กำหนดความต้องการการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ของกรณีศึกษาประเทศลาว ตามภาพเหตุการณ์อนาคต ซึ่งสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน 4 ประเภท ดังนี้ 1) เพิ่มพื้นที่อยู่อาศัย 2) ที่ดินสำหรับปลูกพืชผลทางการเกษตรหลัก (นาข้าว) 3) เพิ่มพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ และ 4) ที่ดินปลูกไม้ยืนต้น โดยภาพเหตุการณ์ในอนาคต ได้คาดการณ์ว่า ที่อยู่อาศัยและที่ดินพืชผลทาง

การเกษตรหลักเพิ่มขึ้นระดับกลาง ส่วนการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่และไม้ยืนต้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของต่างประเทศ

กำหนดพื้นที่หวงห้าม ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนการจำลอง 2 ประเภท คือ พื้นที่อุทยานแห่งชาติ ตามขอบเขตในแฟ้มข้อมูล region_park.fil' และพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลางมากกว่า 1,000 เมตร ซึ่งบันทึกในแฟ้มข้อมูล region_1000.fil' รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการกำหนดนโยบายด้านพื้นที่ (spatial policies) เพื่อกำหนดเป็นที่หวงห้าม ศึกษาเพิ่มเติมในหัวข้อ 0

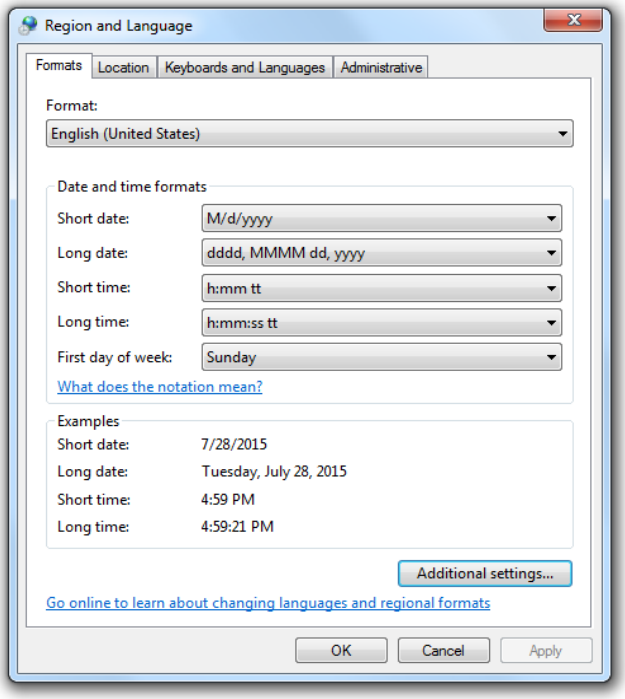
ข้อสังเกต การกำหนดภาพเหตุการณ์ในอนาคตในแบบฝึกหัดนี้ เป็นการสมมติเหตุการณ์ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ ไม่ได้เป็นภาพเหตุการณ์จริงในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ดังนั้น ให้พึงระวังในการแปลตีความ

4 การเตรียมคอมพิวเตอร์ และการใช้ GIS

4.1 เตรียมคอมพิวเตอร์

ในการใช้แบบจำลอง CLUMondo ผู้ใช้ต้องจัดเตรียมข้อมูลและตั้งค่าของระบบคอมพิวเตอร์ ก่อนการใช้งาน กล่าวคือ กำหนดสัญญลักษณ์จุด (.) แทนค่าทศนิยม ไม่ใช่เครื่องหมายจุลภาค (,) ซึ่งชุดข้อมูลตัวอย่างในแบบฝึกหัด ได้ดำเนินการจัดทำให้เหมาะสมแล้ว แต่เพื่อความมั่นใจ ให้ผู้ใช้งานทุกคน ดำเนินการตรวจสอบ/ตั้งค่า คอมพิวเตอร์ให้ถูกต้อง โดยดำเนินการ ดังนี้

- ในระบบปฏิบัติการ Windows, เข้าไปที่ Control Panel/Clock, Language, and Region เลือก 'Region and Language'.
- ในเมนู 'Format' เลือก, 'English (United States)' (ภาพที่ **Error! Reference source not found.**) กด 'Additional ettings' เพื่อตรวจสอบว่า สัญญลักษณ์ หมายถึงเครื่องหมายทศนิยมหรือไม่



ภาพที่6. การตั้งค่า Region และ ภาษา สำหรับแบบจำลอง CLUMondo

4.2 GIS Software

ก่อนที่จะจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ผู้ใช้อาจจำเป็นต้องจัดเตรียมข้อมูลด้านพื้นที่ เช่น แผนที่การใช้ประธยชน์ที่ดิน หรือแผนที่ความเหมาะสมที่ดิน ซึ่งการดำเนินการดังกล่าว ไม่สามารถทำดโดยแบบจำลอง CLUMondo ดังนั้น ผู้ใช้ต้องมีโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อใช้ในการดำเนินการต่าง ๆ ดังนี้

- จัดเตรียมหรือแก้ไขข้อมูล เพื่อใช้ในแบบจำลอง Clumodo เช่น การนำเข้าข้อมูล การแปลงข้อมูลจากระบบ vector เป็นระบบ raster การกำหนดพื้นที่หวงห้าม และจัดเตรียมข้อมูลด้านพื้นที่ เป็นต้น
- ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ หากจำเป็น
- การจัดทำแผนที่ สัญญลักษณ์ และคำบรรยายต่างๆ เพื่อเผยแพร่.

โปรแกรม GIS ที่ได้รับความนิยมในการใช้งาน ได้แก่ ArcGIS ผลิตโดย บริษัท ESRI (www.esri.com/ software/arcgis) และโปรแกรม IDRISI ผลิตโดย Clark Labs (www.clarklabs.org/products/idrisi-gis.cfm). แต่อย่างไรก็ตาม มีโปรแกรม GS จำนวนมากที่ไม่มีลิขสิทธิ์ด้านการค้า ผู้ใช้สามารถ download ได้ฟรี ที่นิยม ได้แก่

- QGIS http://www.qgis.org
- GRASS GIS http://grass.osgeo.org
- SAGA GIShttp://www.saga-gis.org
- ILWIS http://52north.org/downloads/category/10-ilwis

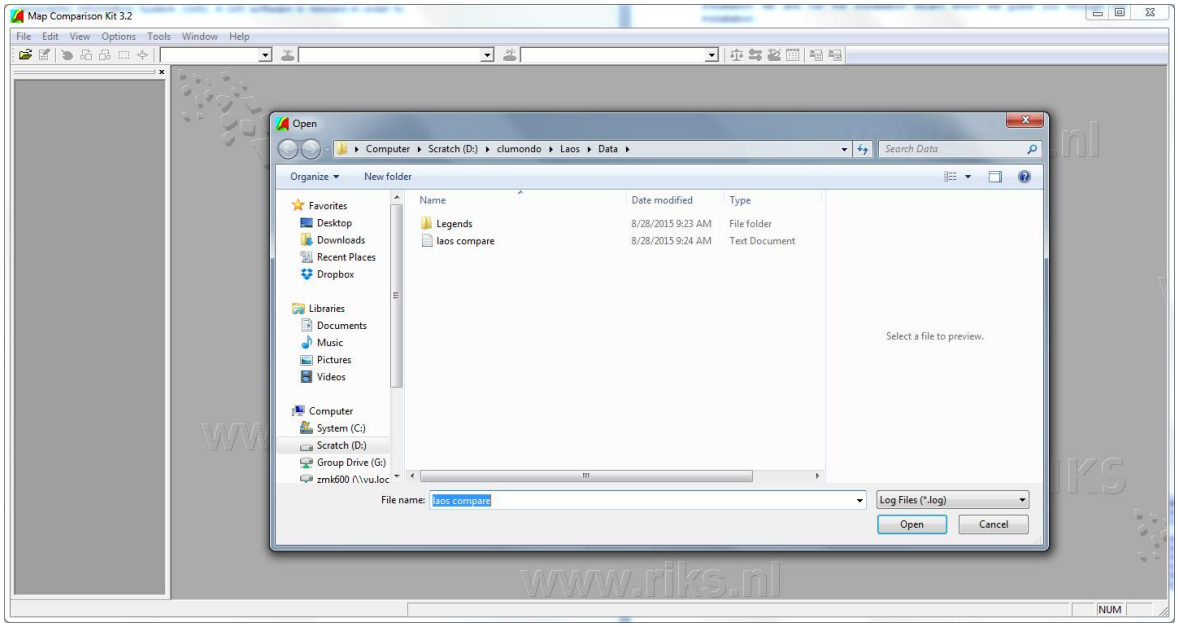
โปรแกรม GIS ข้างต้น ส่วนมากมีชุดคำสั่งในการใช้งานครบถ้วน สามารถชดเชยโปรแกรมที่มีลิขสิทธิ์ทางการค้าได้ กล่าวคือ สามารถแสดงผลข้อมูลแผนที่ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นต้น

4.3 ติดตั้งโปรแกรม Map Comparison Kit

ในแบบฝึกหัด ผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรม Map Comparison Kit (MCM) ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งบันทึกโดยตารางกริด โปรแกรมนี้ใช้งานง่าย และใช้เวลาในการศึกษาน้อย สิ่งที่โปรแกรม สามารถทำได้ มีดังนี้

- สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นที่
- แสดงผลความแตกต่างการกระจายเชิงพื้นที่
- การเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้ประโยชน์ประเภทใดประเภทหนึ่ง
- ตรวจวัดมาตราส่วน หรือขนาดขอวข้อมูลแผนที่ (Nominal, Ordinal, Interval, Ratio)

โปรแกรม MCM สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจากเวปไซด์ http://mck.riks.nl/. หลังจากติดตั้งโปรแกรมและสั่งดำเนินการ (run) จะขึ้นหน้าต่างสำหรับใช้งานดังภาพที่ 7 โปรแกรม จะถามหา log file ซึ่งในการทำงานครั้งแรก ไฟลนี้ยังไม่ได้มีการจัดทำ ดังนั้น ให้กด ยกเลิก (cancel)



ภาพที่7. MCK user interface

ท่านสามารถออกจากโปรแกรม MCK software ในหัวข้อแสดงผลการจำลอง (Displaying simulation results) ในแบบฝึกหัดที่ 1 มีคำแนะนำในการใช้โปรแกรม MCM อย่างละเอียด

5 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน CLUMondo (แบบฝึกหัด)

วัตถุประสงค์ของแบบฝึกหัดนี้มีขึ้นเพื่อที่จะสร้างความคุ้นเคยเกี่ยวกับส่วนต่อประสานผู้ใช้งาน CLUMondo โดยในก่อนหน้านี้ ท่านคุณได้ทราบเกี่ยวกับองค์ประกอบของแบบจำลองบางส่วนไปบ้างแล้ว แต่สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมของแต่ละองค์ประกอบ และแฟ้มข้อมูลนำเข้าสำหรับเพื่อใช้งานในแบบฝึกหัดอื่นๆจะอธิบายทีหลัง หรือรวบรวมอยู่ในคู่มือพื้นฐานสำหรับผู้ใช้งาน

5.1 เริ่มใช้งาน CLUMondo

ในส่วนของ CLUMondo นั้น แบบจำลองจะถูกแยกออกจากโปรแกรมประยุกต์ (โครงการและชุดข้อมูล) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (model application) ซึ่งทำงานคล้ายกับ Microsoft word กล่าวคือ เอกสารจะแยกออกมาจากตัวซอฟท์แวร์ต่างหาก ดังนั้น หลังจากการติดตั้งทั้งโปรแกรมแบบจำลอง และโปรแกรมประยุกต์ (โครงการ/ชุดข้อมูล) จะถูกติดตั้งแยกจากกัน

ภายหลังทำการติดตั้ง CLUMondo สามารถสั่งเริ่มการทำงานที่ Start.All Program/CLUMondo เหมือนกับการทำงานของโปรแกรมทั่วไป หรือไปเปิดโปรแกรมโดยตรงจากแฟ้มข้อมูล CLUMondo ที่ถูกติดตั้ง โดยใช้ *Windows Explorer* แล้วดับเบิ้ลคลิกที่ไฟล์ “Geonamica.exe”

ภายหลังการเปิดโปรแกรมแล้ว CLUMondo จะพร้อมสำหรับการเริ่ม project file โดย project file เป็นไฟล์ที่ประกอบด้วย ชุดข้อมูล และการกำหนดค่าต่าง ๆ (โปรแกรมแบบจำลองประยุกต์) ในแบบฝึกหัดนี้ ใช้โปรแกรมแบบจำลองประยุกต์ทำดำเนินการในประเทศลาว (Laos) ซึ่งได้จัดทำไว้เรียบร้อยแล้ว โดยในระหว่างการติดตั้งโปรแกรม ให้เลือก Laos ซึ่งจัดเก็บไว้ใน Documents\CLUMondo\Laos) จากนั้นส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งานจะปรากฏขึ้นบนหน้าจอ

5.2 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งานและฟังก์ชั่นหลัก

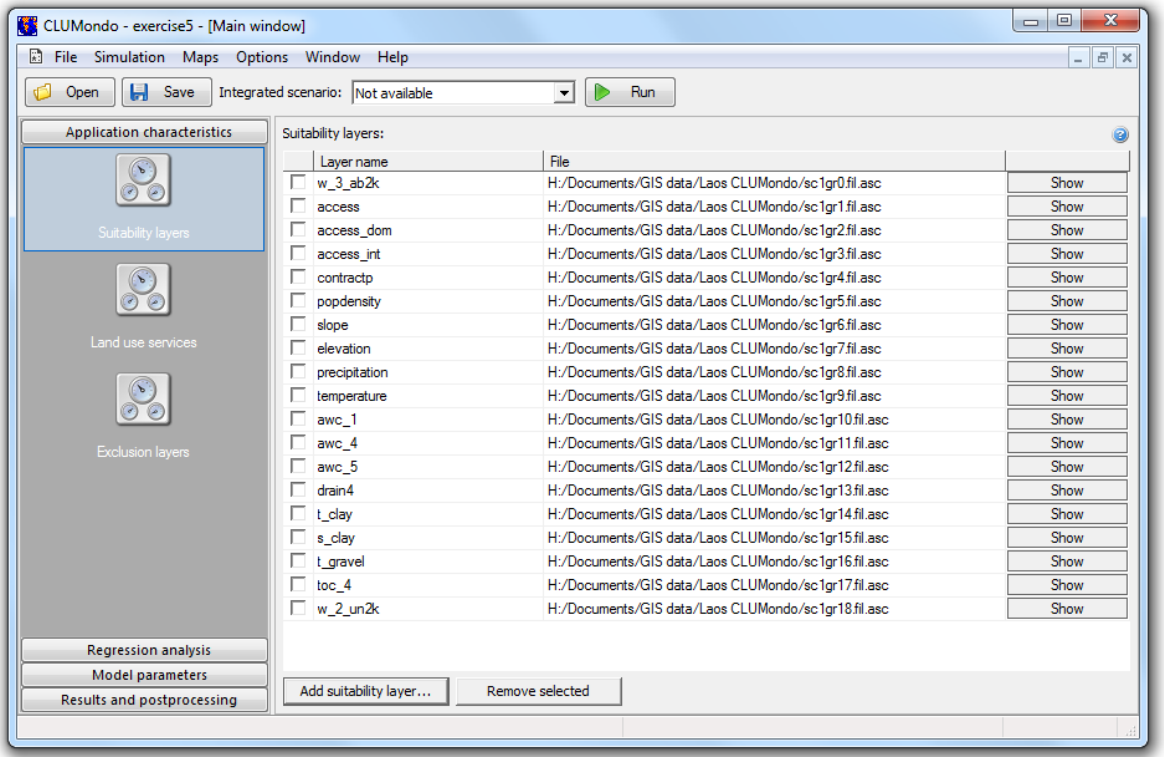
ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน ช่วยให้ท่านสามารถเข้าไปแก้ไขและเข้าถึงดูไฟล์นำเข้าข้อมูลหลัก (main input files) และตัวแปรต่าง ๆ และอนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกภาพเหตุการณ์ในอนาคต (scenario conditions) โดยในโปรแกรมประยุกต์ Laos ค่าตัวแปรทั้งหมดของแบบจำลองได้มีการ

กำหนดไว้แล้ว ดังนั้นสามารถที่จะทำการประมวลผลการจำลอง (simulation) โดยการคลิ๊กที่ปุ่ม Run หรือไปที่ Simulation/Run ขณะที่แบบจำลองอยู่ในขั้นตอนการประมวลผล ปุ่มเมนูทั้งหมดจะไม่สามารถใช้งานได้ (โดยจะปรากฏเป็นสีเทา ดังนั้นจึงไม่สามารถเริ่มการประมวลผลใหม่ได้ในขณะเดียวกัน) และสามารถมองเห็นแถบสีเขียวที่มุมขวาล่าง ซึ่งแสดงความคืบหน้าของการทำงาน จนกระทั่งดำเนินการการประมวลผล ครอบ 100%

ผลการจำลอง (simulation) จะถูกจัดเก็บไว้ที่ไฟล์ผลลัพธ์ (output file) (แผนที่มีการจัดเก็บข้อมูลแบบ ASCII) ซึ่งสามารถนำเข้าโดยใช้ GIS สำหรับการแสดงผลและวิเคราะห์ แผนที่ทั้งหมดที่ผ่านการประมวลผลในแต่ละครั้ง จะถูกเก็บภายในโฟลเดอร์เดียว และเมื่อมีการประมวลผลอีกครั้ง แผนที่ก็จะถูกจัดเก็บในโฟลเดอร์ใหม่ ดังนั้น ผลที่ได้จากแบบจำลองจะไม่สูญหายไปด้วย โดยโฟลเดอร์จัดเก็บข้อมูลผลลัพธ์ จะจัดเก็บอยู่ใน CLUMondo/Laos/CLUMondoWorkingDir และถูกจำแนกโดยวันที่และเวลา ที่เริ่มสั่งประเมวลผล (Start) ซึ่งวิธีนี้ช่วยให้สามารถทราบการใช้งานครั้งล่าสุดได้

5.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของโปรแกรมประยุกต์ (Applications characteristics)

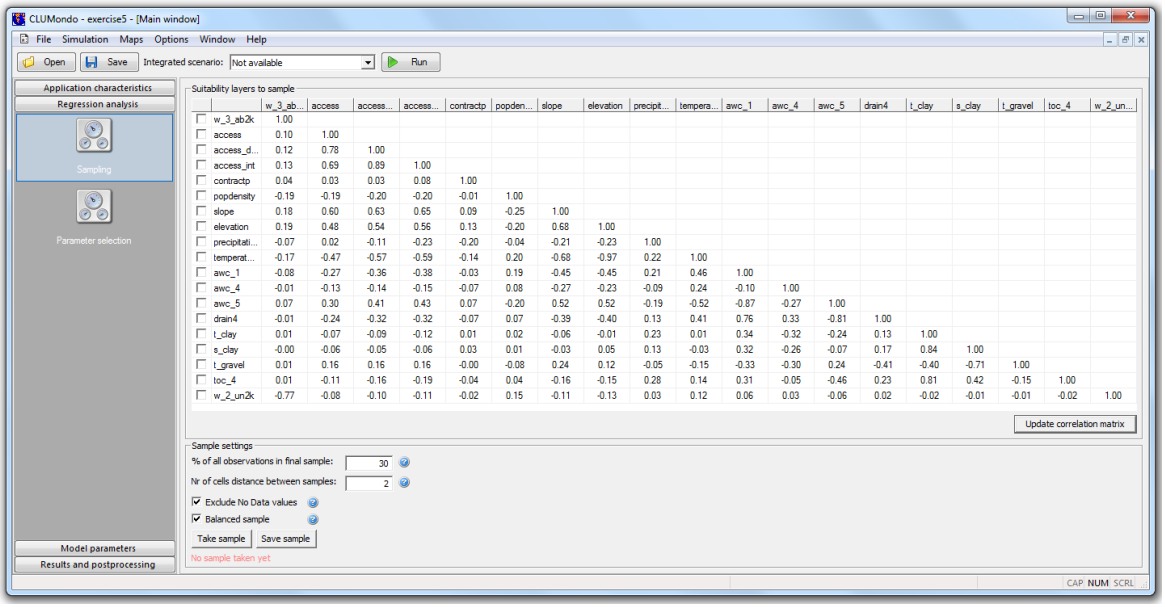
เมนูแรกของส่วนประสานกับผู้ใช้งาน CLUMondo คือ “Application characteristics” ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเพิ่ม (add) ลบ (remove) และแสดง (display) ชั้นข้อมูลแผนที่ความเหมาะสมของที่ดิน ประเภทการใช้ที่ดิน และชั้นข้อมูลแผนที่ที่ไม่ต้องการแสดง (exclusion layers) (ภาพที่ 8) ชั้นข้อมูลแผนที่ความเหมาะสมของที่ดิน และปัจจัยต่างๆของพื้นที่ เช่น ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่, ความหนาแน่นของประชากร, แผนที่แสดงระดับความสูง และปริมาณน้ำฝน โดยสามารถเพิ่มข้อมูลเหล่านี้ได้โดยการคลิ๊ก “Add suitability layer” ส่วนข้อมูลบริการของการใช้ที่ดิ “Land use services” หรือประเภทการชั้นที่ดิน สามารถแสดงผลและแก้ไขได้ ขณะเดียวกันในส่วนของ “Exclusion layers” นั้นหมายถึง ชั้นข้อมูลแผนที่ ซึ่งไม่ได้นำมาใช้ในจำลอง แต่สามารถแสดงข้อมูลโดยใช้คำสั่ง “Add exclusion layer” ข้อมูลแผนที่ทั้งหมด (suitability และ exclusion layers) สามารถแสดงผลได้โดยการกด “Show” ซึ่งเป็นเมนูที่อยู่ถัดจาก file description



ภาพที่8. Application characteristics ของส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน CLUMondo model

5.2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

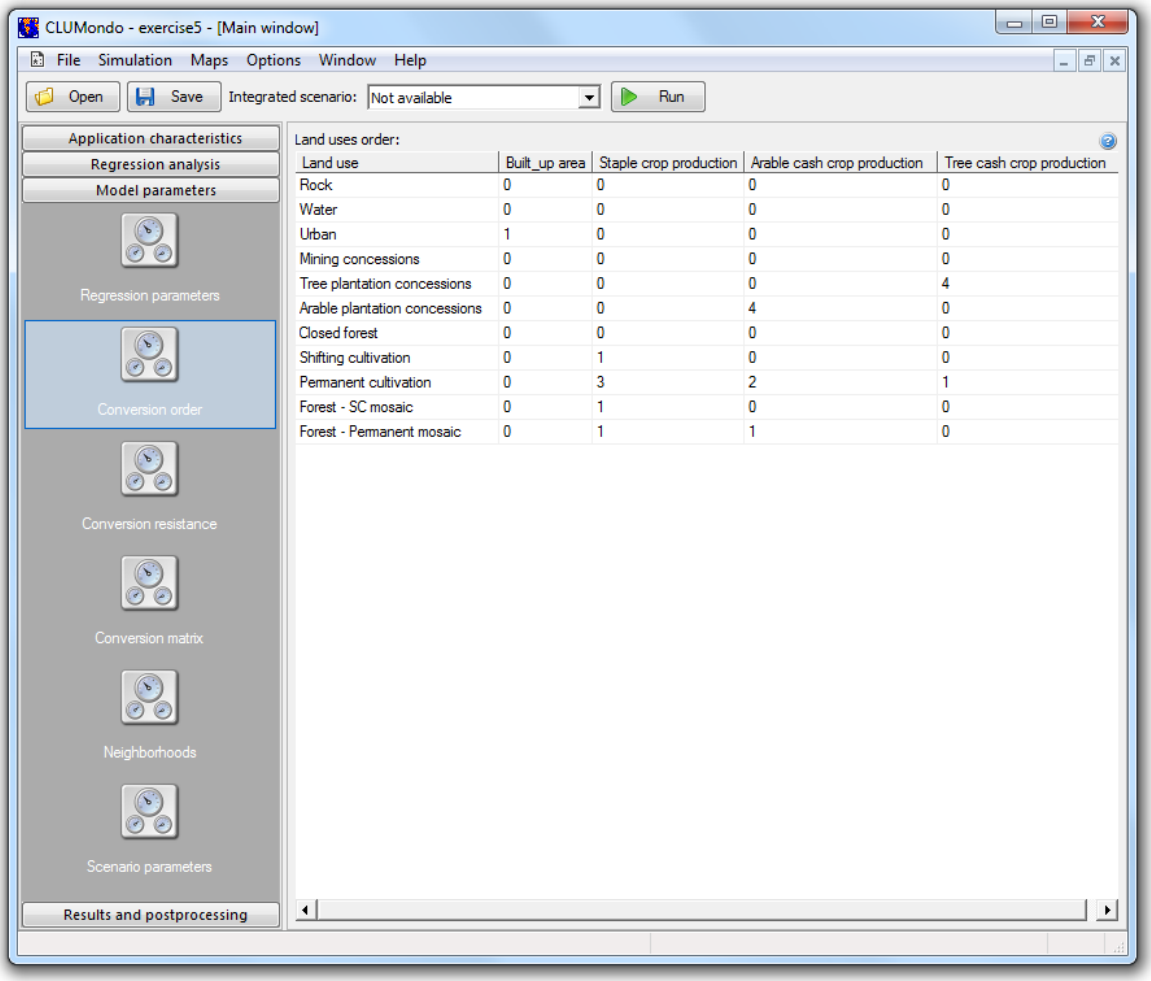
ในส่วนที่สอง คือ “การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)” ผู้ใช้สามารถทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งต้องดำเนินการทุกครั้งสำหรับโปรแกรมประยุกต์ (โครงการ) ใหม่ (ภาพที่ 9) แต่ในกรณีที่มีโปรแกรมประยุกต์นี้อยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) อีก



ภาพที่9. หน้าจอแสดงการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) โดยใช้ CLUMondo

5.2.3 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Model parameters)

ในส่วนนี้ ผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ของแบบจำลอง เช่น ปัจจัยสมการถดถอย (regression parameter) ลำดับการเปลี่ยนแปลง (conversion order) และ ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง การปรับแก้ตารางการเปลี่ยนแปลง (conversion matrix) และ ลักษณะของพื้นที่ใกล้เคียง ตลอดจนภาพตุการณ์ในอนาคต (scenario) ดังภาพที่ 10 ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ มีความสำคัญอย่างมากสำหับโปแกรมประยุกต์หรือโครงการใหม่ ซึ่งมีคำอธิบายเพิ่มเติมในแบบฝึกหัดที่ 2 ภาพเหตุการณ์การเหลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land use change scenarios)



ภาพที่10. หน้าจอแสดงการแปลงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง (model parameters) ใน CLUMondo

5.3 เริ่มต้นการจำลอง (Start of a simulation)

แบบจำลองสามารถประมวลผลได้ เมื่อมีการเตรียมปัจจัยและข้อมูลต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ซึ่งในแบบฝึกหัดนี้ ข้อมูลนำเข้าทั้งหมดได้ดำเนินการแล้ว ใน working directory

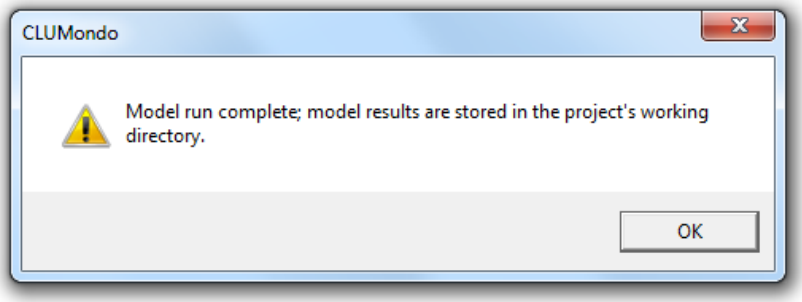
- กด “Run” และแบบจำลองจะเริ่มต้นประมวลผล

หลังจากที่แบบจำลองได้ทำการประมวลผลเสร็จสิ้น ไฟล์ผลลัพธ์จะถูกจัดเก็บในแฟ้มข้อมูล (ตัวอย่างเช่น \CLUMondo\Laos\CLUMondoWorking\ และแฟ้มย่อยจะแสดงวันที่และเวลาที่แบบจำลองประมวลผล) แบบจำลองสามารถประมวลผลได้อีกครั้งโดยการเพิ่มชั้นข้อมูลแผนที่ ชั้นข้อมูลที่ไม่ใช้ในการจำลอง (exclusion layers) หรืออาจจะเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ผ่านทางส่วนต่อ

ประสานกับผู้ใช้งาน (user interface) (ตัวอย่างเช่น คำสั่งการแปลงค่า, การทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งลักษณะพื้นที่ใกล้เคียง เป็นต้น)

5.4 เสร็จสิ้นการจำลอง (End of the simulation)

เมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผลแล้ว CLUMondo จะมีข้อความแจ้งเตือน (ภาพ 11) และแถบแสดงความก้าวหน้าจะไม่แสดงการทำงานใด ๆ ไฟล์ผลลัพธ์ต่าง ที่ได้จากการประมวลผล จะถูกจัดเก็บไว้ในสาระบบโครงการ (project directory) ประกอบด้วย ส่วนแรก คือ log file แสดงข้อมูลนำเข้า (input files) และช่วงเวลาการประมวลผลในแต่ละครั้ง หรือข้อผิดพลาด และผลลัพธ์ที่ไม่ได้คาดหมาย ส่วนที่สอง คือ การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละปี ซึ่งบันทึกเป็น cov_all.* โดย * หมายถึงปีที่ได้จากการจำลอง โดยบันทึกเป็นไฟล์ ASCII และสามารถนำเข้าเพื่อแสดงผลได้โดยใช้ GIS package (ArcGis, Idrisi, QGIS) และโปรแกรม MCM ส่วนที่สาม คือ age* โดย * หมายถึงปีที่ทำการจำลอง ซึ่งไฟล์นี้ แสดงจำนวนปีที่ในแต่ละตารางกริด (grid cell) มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่นั้นๆ นอกจากนี้ แบบจำลองยังสามารถสร้างไฟล์ที่มีชื่อว่า landarea.txt ซึ่งไฟล์นี้จะประกอบด้วย ข้อมูลการจัดสรรพื้นที่ในแต่ละปี (ยกเว้นปีที่ 0 - ปีเริ่มต้น) ของแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (จำนวนตารากริด * ขนาดของตารากริด) ส่วนไฟล์ผลลัพธ์อื่น ๆ มีการอธิบายไว้แล้วในคู่มือ สามารถดูได้จาก Help ซึ่งรวมอยู่ในโปรแกรม



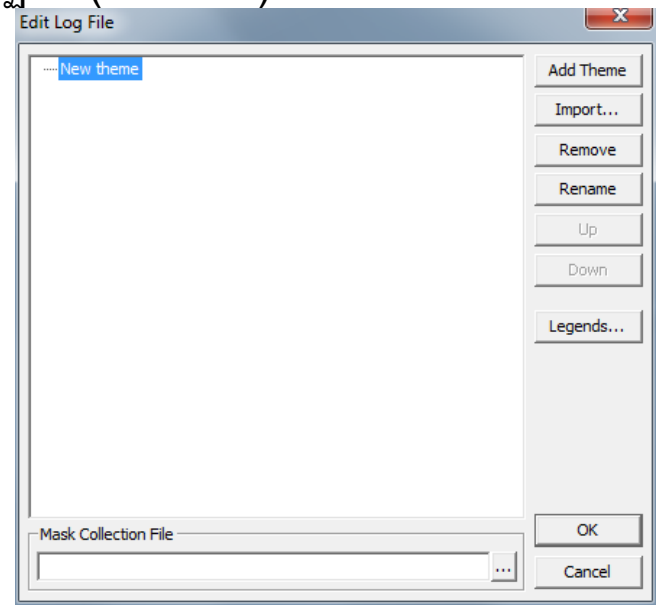
ภาพที่11. หน้าจอแสดงเมื่อสิ้นสุดการจำลอง

5.5 การแสดงและเปรียบเทียบผลการจำลอง (Display and compare simulation results)

ผลที่ได้จากการประมวลผลโดย CLUMondo จะถูกจัดเก็บในสาระบบ CLUMondo\Laos\ CLUMondoWorking ผลลัพธ์เหล่านี้ สามารถ

แสดงผลโดยใช้ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (user interface) ผ่านของโปรแกรม CLUMondo โดยแสดงผลเบื้องต้นและแผนที่แบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้เมนู “Results” และ Postprocessing หากต้องการแสดงผลในรายละเอียด และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ จำเป็นต้องใช้โปรแกรม GIS package ในการดำเนินการ ในหัวข้อนี้ จะอธิบายการแสดงผลและเปรียบเทียบข้อมูลแผนที่ โดยใช้โปรแกรม Map Comparison Kit (MCK) โดย ดำเนินการ ดังนี้

- เริ่มการใช้งาน MCK (ศึกษาคำแนะนำในการติดตั้ง ในหัวข้อ 3 การใช้ระบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์)
- หลังจากเปิดโปรแกรม มีคำถามว่าจะเปิด log file หรือไม่ ให้กดยกเลิก (cancle) เพราะยังไม่ได้มีการสร้าง log file
- เลือก “File/New” จากนั้นหน้าต่าง “Edit log file” (แก้ไข log file) จะปรากฏขึ้น (ภาพที่ 12)

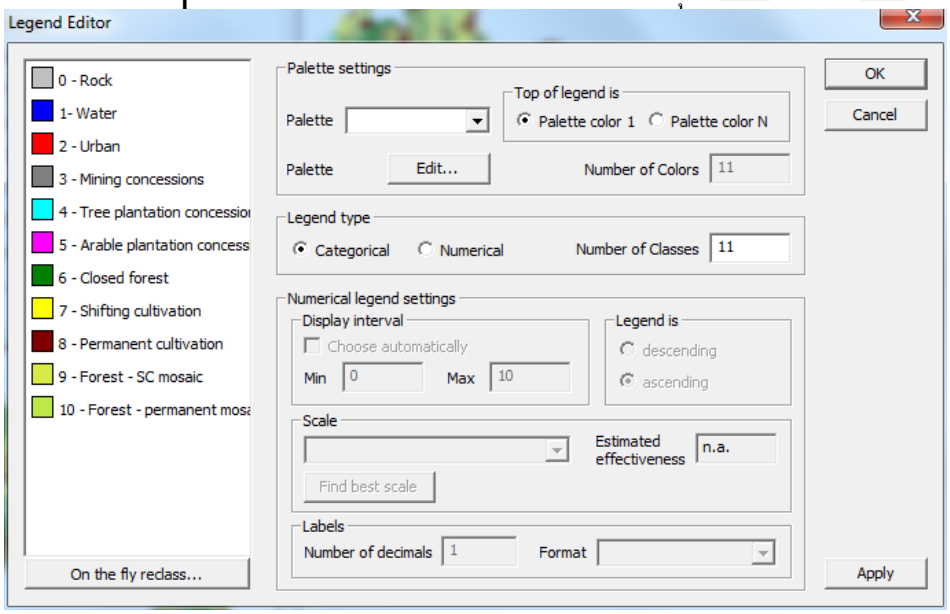


ภาพที่12. หน้าจอแสดงการ “Edit log file” ใน MCK

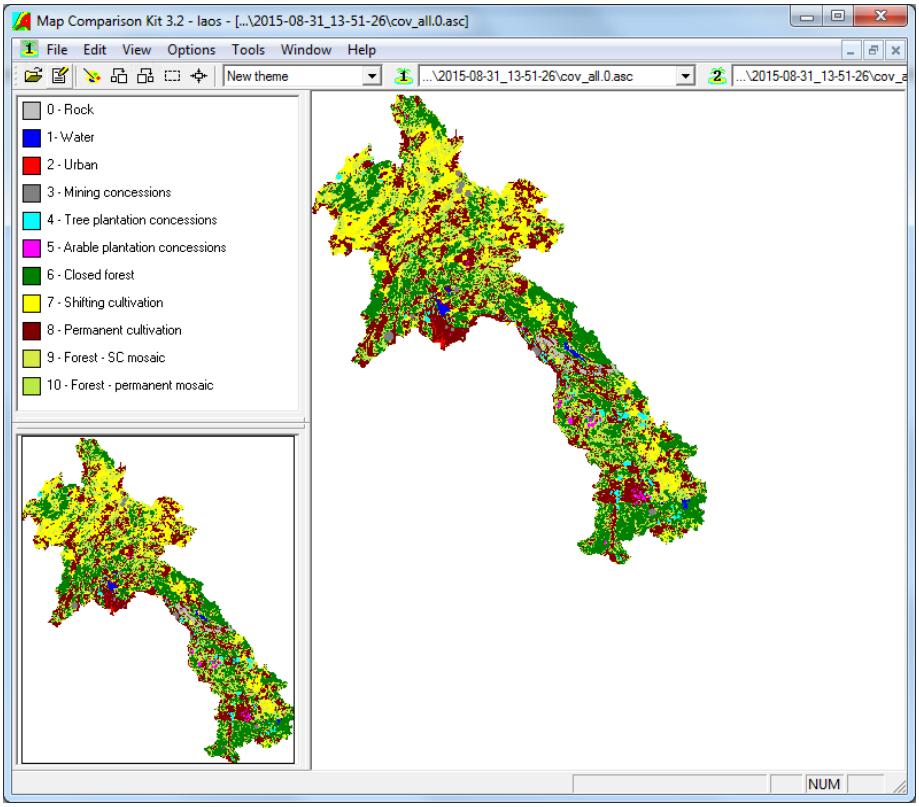
- เลือก “Import” และเรียกดูแฟ้มข้อมูล Simulation results folder (CLUMondo\Laos\ CLUMondoWorking, ซึ่งมีแฟ้มข้อมูลย่อยระบุวันและเวลาที่มีการแสดงผลการจำลอง) เลือกชนิดไฟล์เป็น “All Files (*)” ผลการจำลอง (แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน) จะถูกจัดเก็บในไฟล์ชื่อว่า cov_all.* โดยเครื่องหมาย * หมายถึงปี ที่ดำเนินการประมวลผลของแบบจำลอง
- เลือกไฟล์ที่ต้องการเปรียบเทียบข้อมูล เช่น หากต้องการเปรียบเทียบแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปีที่เริ่มต้น (ปีที่ 0) และแผนที่การใช้

ประโยชน์ที่ดินปีสุดท้าย (ปีที่ 10) ให้เลือกไฟล์ cov_all.0 และ cov_all.10 จากนั้นคลิ๊กที่ “OK”

- ไฟล์จะถูกเพิ่มเข้าไปใน “Edit log file” กด “OK” จากนั้นโปรแกรมจะให้ทำการตั้งชื่อและบันทึก log file ทำการบันทึกโดยใช้ชื่อที่ต้องการ จากนั้นโปรแกรมจะเริ่มดำเนินการเปรียบเทียบข้อมูลแผนที่
- แผนที่จะถูกแสดงในหน้าต่างหลักของ MCK โดยรูปแบบสีอัตโนมัติ และเพื่อช่วยให้เปรียบเทียบแผนที่ได้ง่ายยิ่งขึ้น แนะนำให้ทำการเปลี่ยนสีแผนที่ โดยการดับเบิ้ลคลิกที่สัญลักษณ์ของแผนที่ (legend) ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายของหน้าต่างจากนั้น “Legends editor” จะเปิดขึ้น (ภาพที่ 13) ท่านสามารถปรับเปลี่ยนสีและชื่อประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามความต้องการ (เช่น ชุมชนเมือง, ป่าทึบ เป็นต้น) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชื่อ จะช่วยให้สามารถทำการเปรียบเทียบได้ง่ายยิ่งขึ้น
- เลือกสีที่เหมาะสมกับประเภทการใช้ประโยชร์ที่ดิน และสามารถจำแนกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน สั่ง apply ดังแสดงในภาพที่ 14 ซึ่งพร้อมต่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดย MCK
- ท่านสามารถทำการปรับเปลี่ยนแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปีเริ่มต้น และปีอื่น ๆ ที่ได้จากการจำลอง โดยคลิ๊กที่ปุ่ม หรือ



ภาพที่13. หน้าจอแสดงการแก้ไขรูปแบบนำเสนอทางกราฟิคของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินใน MCK

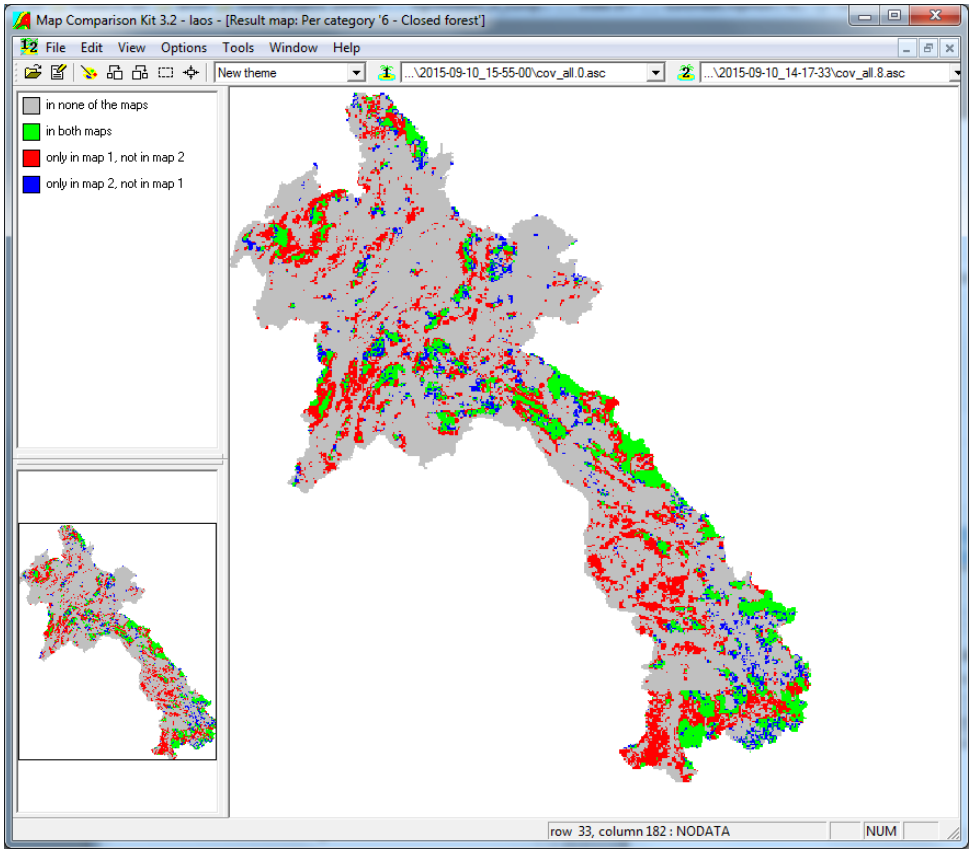


ภาพที่14. การแสดงแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินใน MCK

ภาพที่15. ตัวอย่างสัญญลักษณ์แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศลาว

เราสามารถเริ่มต้นเปรียบเทียบแผนที่ได้ โดยในขั้นแรกทำการเปรียบเทียบแผนที่ปีเริ่มต้น กับแผนที่ซึ่งได้จากการจำลองเสร็จสิ้นท้ายสุด โดยใช้คำสั่ง "Per comparison "ใน MCK คำสั่งนี้ จะทำการเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งได้ทำการเลือกไว้แล้ว ในแต่ละตารางกริดว่าต่างกันหรือไม่ โดยดำเนินการ ดังนี้

- เลือก “Options/Comparison algorithm” หรือคลิ๊กที่ ปุ่ม Comparison algorithm เลือก “Per category”
- เลือก “Options/Algorithm settings” หรือคลิ๊กที่ ปุ่ม Algorithm settings
- เลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินอันแรกที่ต้องการเปรียบเทียบ เช่น รหัส 6 ซึ่งหมายถึงป่าทึบ เป็นต้น เราสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่า ระหว่างปีเริ่มต้นและปีท้ายสุด (ภาพที่ 16) โดยสามารถทราบว่า พื้นที่ใดยังมีพื้นที่ป่าคงเหลือ พื้นที่ใดที่มีการทำลายป่า และพื้นที่ใดมีพื้นที่ป่าเพิ่มขึ้น หากต้องการเปรียบเทียการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ให้กดดับเบิ้ลคลิกที่สัญญลักษณ์ของแผนที่ทางด้านซ้ายมือ และกำหนดสัญญลักษณ์ “in none of the maps” ให้เป็นสีเทา
- หากต้องการแสดงผลลัพธ์ทางสถิติ ให้กด “Options/Result statistics”, หรือกดปุ่ม ”) เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใดประเภทหนึ่ง ของ 2 ช่วงเวลา ในเชิงปริมาณ
- ดำเนินการเปรียบเทียบ ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ ทั้งหมด โดยการเลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ใน “Algorithm settings”



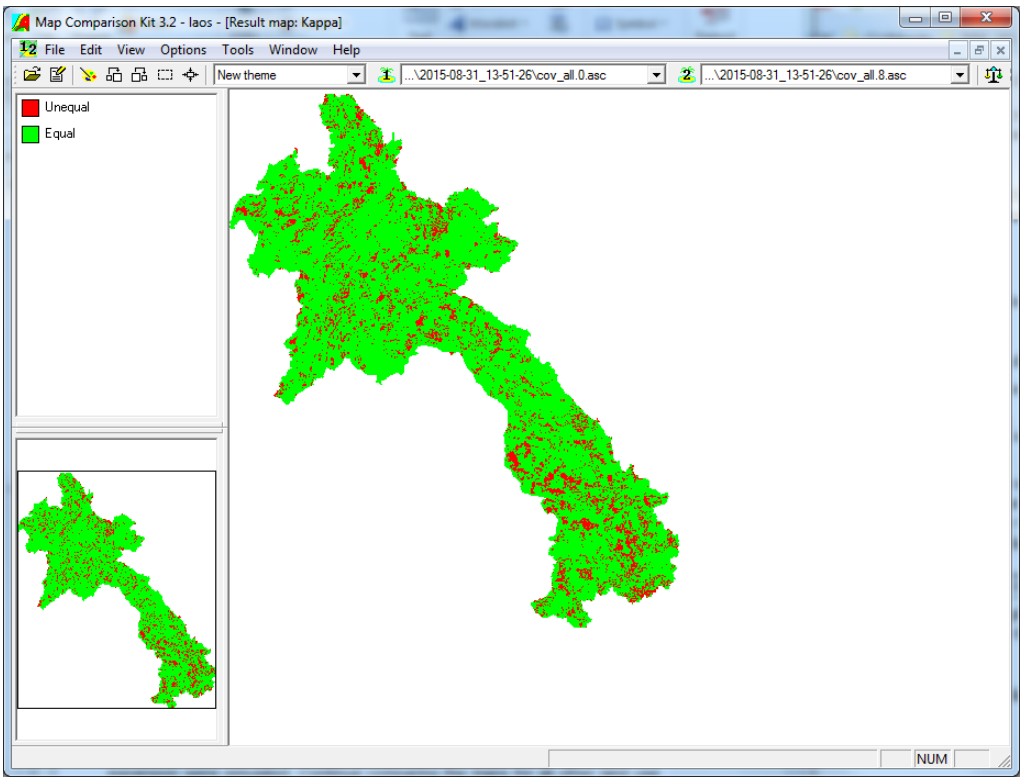
ภาพที่16. แสดงการเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดิน แต่ละประเภทใน MCK

ลำดับถัดไป ทำการเปรียบเทียบแผนที่ 2 ภาพโดยใช้ Kappa algorithm ซึ่ง algorithm นี้จะทำการเปรียบเทียบแผนที่ในแต่ละตารางกริด เพื่อประเมินดูว่าข้อมูลในแต่ละคู่ของตารางกริด ที่ได้จากแผนที่ทั้งสองมีค่าเท่ากันหรือไม่ โดยดำเนินการ ดังนี้

- เลือกเมนู Kappa ซึ่งแสดงในหน้าต่าง “Select comparison algorithm” ผลการวิเคราะห์ จะแสดงให้เห็นความแตกต่าง ของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในสองช่วงเวลา (ภาพที่ 17)
- เลือก “Options/Result statistics” หรือคลิ๊กที่ปุ่ม เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่าง ของแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และตารางเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแต่ละคู่ (contingency table) พร้อมค่าตัวแปรต่าง ๆ ของ Kappa algorithm

โดยในตารางแสดงแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน ท่านสามารถเห็นความแตกต่างที่เกิดจากแผนที่ทั้งสอง ว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด โดยมี K_{Loc} values อธิบายความคล้ายคลึงระหว่างแผนที่ทั้งสองในเชิงพื้นที่ และมี K_{Histo} values อธิบายความ

คล้ายคลึงกันในเชิงปริมาณ โดยถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่า แผนที่ทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันมาก ทั้งในเชิงพื้นที่และปริมาณ เราสามารถคาดการณ์ได้ว่า การใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภทหิน และน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้นจึงมีค่าใกล้เคียง 1 ในทางตรงข้าม การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท ป่าทึบและประเภทอื่น ๆ จะมีค่าต่ำ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นมาก เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลปีที่เริ่มต้น ก่อนดำเนินการจำลอง



ภาพที่17. การเปรียบเทียบแผนที่ 2 ชั้นข้อมูล โดยใช้ Kappa algorithm

ตาราง *contigency table* แสดงรายละเอียดขนาดพื้นที่ของการใช้ประโยชน์แต่ละคู่ ระบุเป็นจำนวนตารางกริด ที่ได้จากแผนที่ *2* ชั้นข้อมูล ดังนั้น ทำให้เราทราบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทหนึ่งในปีเริ่มต้น ได้เปลี่ยนไปเป็น การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นในช่วงเวลาดังกล่าวมากน้อยเพียงใด แนะนำให้ท่านใช้เวลาในการศึกษาและพิจารณาว่า การเปลี่ยนแปลงประเภทใด มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

6 การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Simulating land use change scenarios; แบบฝึกหัด)

ในแบบฝึกหัดนี้ จะช่วยให้ท่านคุ้นเคยกับ *CLUMondo* ในการจำลองภาพเหตุการณ์ต่าง ๆ (*scenarios*) โยเฉพาะอย่างยิ่ง ท่านจะสามารถปรับแก้ตัวแปรต่าง ๆ ของแบบจำลอง เพื่อให้สอดคล้องกับภาพเหตุการณ์ และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละภาพเหตุการณ์

6.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดภาพเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน

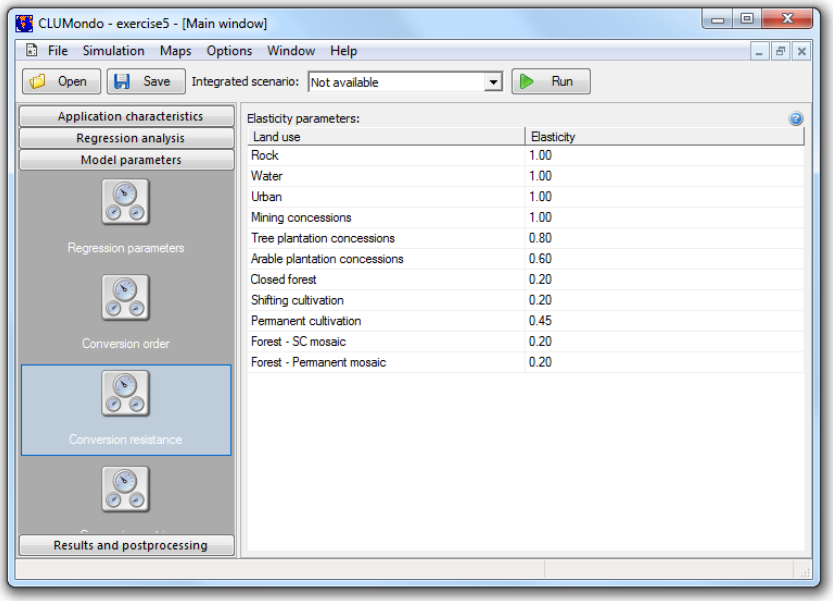
แบบจำลอง *CLUMondo* มีตัวแปรจำนวนมาก ที่จำเป็นจะต้องมีการกำหนดค่าให้เรียบร้อย ก่อนการประมลผล ซึ่งการตั้งค่าตัวแปรเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับแต่ละภาพเหตุการณ์ ตัวแปรของแบบจำลองที่ต้องมีการปรับแก้ มีดังต่อไปนี้

- ค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง (Conversion resistance parameters)
- ตารางการเปลี่ยนแปลง (Conversion matrix)
- ตัวแปรของภาพเหตุการณ์ (Scenario parameters)

ภาพเหตุการณ์ (scenarios) สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของการพัฒนา และช่วยอธิบายหรือสามารถสร้างเข้าใจ ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลอง ตัวอย่าง การวิเคราะห์อย่างง่ายได้แก่การเปรียบเทียบโดยใช้สายตา หรือ การคำนวณความแตกต่างที่ได้จากภาพเหตุการณ์ต่าง ๆ โดยใช้ GIS หรือโปรแกรม MCK

6.1.1 ค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง (Conversion resistance parameters)

ค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง เป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างหนึ่งในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างพลวัต (temporal dynamics) ค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินได้หรือไม่ (ภาพที่ 18) โดยประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีการลงทุนสูง โดยมากมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นยาก นอกจากว่า มีความต้องการใช้ที่ดินในพื้นที่นั้นอย่างมาก ดังนั้น จะอยู่คงที่ (static) เช่น ที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่เกษตรกรรมถาวร (พืชที่มีการเจริญเติบโตช้า หรือไม้ผลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ) ในขณะที่ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ง่าย หากพื้นที่นั้นมีความเหมาะสมมากต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น พื้นที่เกษตรกรรม สามารถเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง พื้นที่เมืองไม่เปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรม แต่การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรม สามารถเกิดขึ้นได้บริเวณรอบๆ ขอบป่า อีกตัวอย่าง คือ การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อทำไร่เลื่อนลอย โดยมากจะระยะเวลาไม่เกิน 2 ฤดูกาล เนื่องจากหลังจากนี้ การขาดแคลนธาตุอาหารในดิน



ภาพที่18. ค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง (conversion resistance parameters)

ความแตกต่างกันของพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ สามารถสะท้อนได้ด้วยค่าใช้จ่ายในการแปลง อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายไม่สามารถเป็นตัวแทนได้ทุกปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ เช่น การขาดแคลนธาตุอาหารในดิน, มูลค่าที่เกิดจากความสวยงามของพื้นที่ เป็นต้น ดังนั้น ในแบบจำลอง การกำหนดความยืดหยุ่นของการเปลี่ยนแปลง *(conversion elasticity)* การใช้ที่ดินในแต่ละประเภท ไม่มีรูปแบบตายตัวแต่มีความสัมพันธ์หรือเปรียบเทียบระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (เปลี่ยนแปลงได้ง่าย) ไปจนถึง 1 (ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้) ดังนั้น ผู้ใช้แบบจำลอง ควรกำหนดค่าตัวแปรนี้ โดยความรู้ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ หรือสังเกตพฤติกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีต คำอธิบายเพิ่มเติมในการกำหนดค่าความยืดหนุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง ของค่าประมาณความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนค่าความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง และพฤติกรรมของการใช้ที่ดิน เมื่อมีความต้องการใช้ประโยชน์ที่เดินเพิ่มขึ้นหรือลดลง สาสรถสรุป ได้ดังนี้

0 : หมายถึง การใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งหมด เกิดขึ้นโดยอิสระทุกพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนี้ กล่าวคือ การใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถทดแทนได้โดยการใช้ประโยชน์ประเภทอื่น ในขณะเดียวกัน สามารถเกิดได้ในพื้นที่อื่น ๆ ด้วย เช่น การทำไร่เลื่อนลอย

>0...<1: หมายถึง สามารถเปลี่ยนแปลงได้ หากมีค่าสูง แสดงว่าเปลี่ยนแปลงยาก หรือยังมีการใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบเดิม ในพื้นที่เดียวกัน โดยทั่วไปใช้ค่าใช้จ่ายในการลงทุน มาใช้พิจารณา

1: หมายถึง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ณ ตารางกริดใดตารางกริดหนึ่ง ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ในแต่ละช่วงเวลาของการจำลอง โดยทั่วไป ใช้กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีการเปลี่ยนแปลงยาก การตั้งถิ่นชุมชนและเมือง และพื้นที่ป่าสมบูรณ์ สามารถนำไปใช้ในการกำหนดการป้องกันการทำลายป่า หรือการฟื้นฟูป่า เป็นต้น

สำหรับในแบบฝึกหัดนี้ ท่านสามารถเพิ่มค่าความทนทานของการเปลี่ยนแปลง ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภท “ป่าทึบ (ป่าสมบูรณ์)” ซึ่งหมายถึง ป่ามีโอกาสเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หากดำเนินการตามภพเหตุการณ์นี้ที่กำหนดนโยบายลดการขยายพื้นที่เกษตรและพื้นที่อยู่อาศัยเข้าไปในพื้นที่ป่า แต่การใช้ประโยชน์ประเภทอื่น ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

- ก่อนดำเนินเปลี่ยนแปลงค่าปัจัยต่าง ๆ แนะนำให้ทำการประมวลผลแบบจำลองอย่างน้อยครั้งหนึ่งก่อน ทั้งนี้ เพื่อจะได้ใช้เป็นเป็นข้อมูลอ้างอิง (reference scenario) และใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากภาพเหตุการณ์ต่าง ๆ ในอนาคต
- ในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน (user interface) ของแบบจำลอง CLUMondo ให้ทำการเลือกเมนู Model parameter/Conversion resistance และปรับเปลี่ยนค่าความยืดหนุ่นในการเปลี่ยนแปลง (Conversion resistance) ของรการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภท “Forest – SC Mosaic” ให้เท่ากับ 0.8 หลังจากนั้นคลิ๊กที่ปุ่ม “Run” เพื่อที่เริ่มการประมวลผล.
- เมื่อแบบจำลองประมวลผลเสร็จสิ้นแล้ว ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลที่ได้การประมวลอ้างอิง (reference scenario) โดยใช้โปรแกรม MCK โดยการนำเข้าแผนที่ประมวลผลขั้นท้ายสุด (ปีที่ 10) ใน MCK log file ที่ได้สร้างไว้ก่อนหน้านี้
- ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล ระหว่างปีเพริ่มต้อนและปีสุดท้าย ของการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบ Forest – SC Mosceic (โดยการใช้ “Per category”) ท่านสังเกตเห็นอะไรบ้าง
- เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลอ้างอิง (referenc scenario) และภาพเหตุการณ์ที่ได้เปลี่ยนค่าความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง สำหรับ Forest – SC (โดยการใช้ “Per category”)
- ขั้นท้ายสุด ตรวจสอบความแตกต่างของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆ ท่านว่าสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง หรือผลกระทบ ซึ่งเป็นผลจากการปรับค่า conversion resistance หรือไม่ (โดยการใช้ “Per category” หรือ kappa)

ท่านสามารถจำลองภาพเหตุการณ์อื่น ๆ โดยการปรับเปลี่ยนค่า conversion resistance parameter ตัวอย่างเช่น การลด conversion resistance ของป่าให้มีค่าต่ำเท่ากับ 0 ซึ่งหมายถึง ในการจำลองจะไม่การป้องกันพื้นที่ป่าเลย

6.1.2 เมตริกซ์ (ตาราง) การเปลี่ยนแปลง (Conversion matrix)

เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลง ใช้ในการกำหนดว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใด ที่สามารถทำได้ในแบบจำลอง (ภาพที่ 19) เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลง จะบันทึกอยู่ในรูปไฟล์ข้อความ (text file) ที่สามารถแก้ไขโดยใช้โปรแกรมทั่วไป หรือใช้ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ โดยแถว (row) ของเมตริกซ์ แสดงประเภทรูปการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบัน และแนว

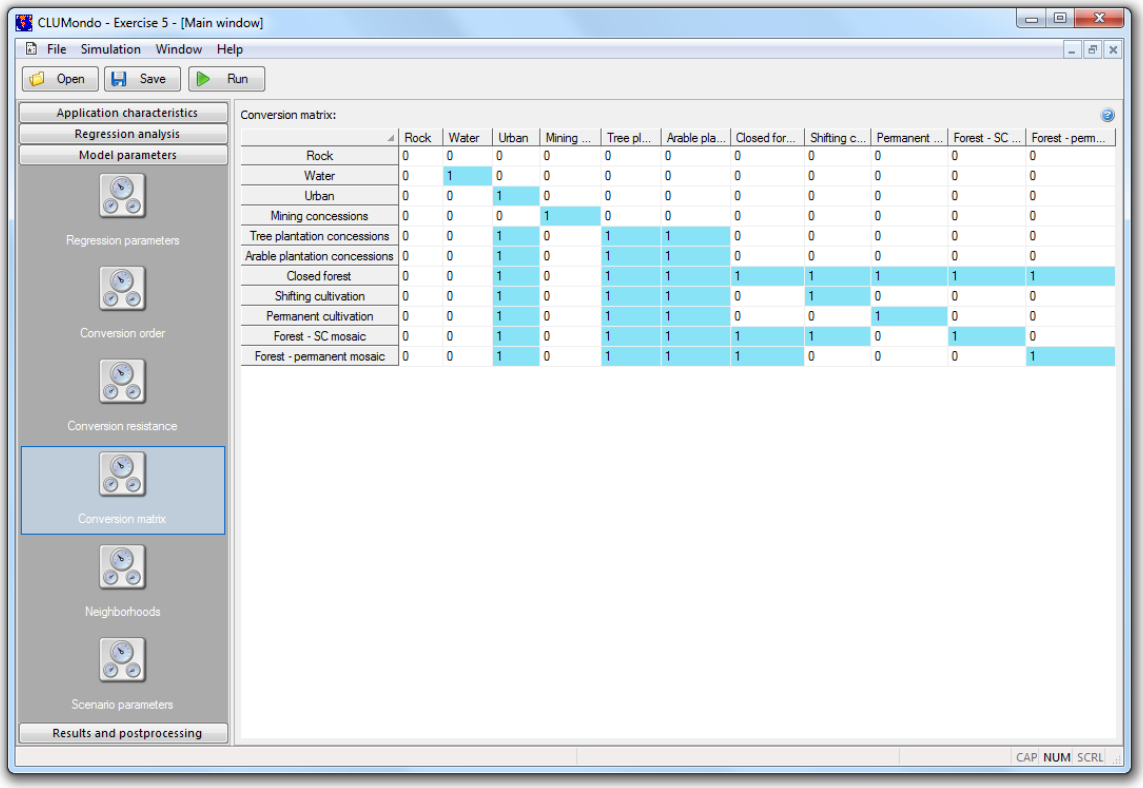
(column) แสดงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ในการปรับแก้การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 2 ประเภท ท่านสามารถแก้ไขข้อมูลในเมตริกซ์ ดังนี้

0: หมายถึง ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

1: หมายถึง สามารถเปลี่ยนแปลงได้

10X : หมายถึง สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ภายหลังจำนวนปีที่ระบุ ตัวอย่างเช่น 104 หมายถึง การใช้ประโยชน์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ภายหลังเวลาผ่านไป 4 ปี และ 110 หมายถึง สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ภายหลังเวลาผ่านไป 10 ปี เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การทำไร่เลื่อนลอยสามารถเปลี่ยนเป็นพื้นที่เพาะปลูก ภายในระยะเวลา 4 ปี ข้อสังเกต การกำหนดข้อมูลในลักษณะนี้ใช้กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จากประเภทหนึ่ง เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินอีกประเภทหนึ่ง ผู้ใช้ ไม่สามารถใส่ค่าเหล่านี้ในแนวทแยง

- ค่า 10X สามารถใช้ได้ในแนวทแยงเท่านั้น ซึ่งบ่งบอกว่า สามารถใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่หนึ่งๆ ได้นานมากที่สุดเท่าไหร หรือไม่สามารถคงอยู่ประเภทเดิมได้ในพื้นที่เดียว หากเวลามากกว่า X ปี ตัวอย่างเช่น กำหนดค่า -103 สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภทไร่เลื่อนลอย หมายความว่า สามารถใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อทำไร่เลื่อนลอยได้มากที่สุด 3 ปี (หากไม่มีการเปลี่ยนแปลง) ในปีถัดไป (ปีที่ 4) ทต้องมีการเปลี่ยนไปเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น



ภาพที่19. เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลง

หลังจากการปรับแก้เมตริกซ์ ให้ดำเนินการประมวลผลแบบจำลองภายใต้เงื่อนไข ไม่สามารถเปลี่ยนจากป่าธรรมชาติ เป็นพื้นที่สวนป่าได้ แต่การปลูกสร้างสวนป่า สามารถเกิดขึ้นได้ในพื้นที่อื่น ที่ไม่ใช่พื้นที่ป่า โดยดำเนินการ ดังนี้

- ใช้เมนู “Model parameters/Conversion matrix” ในการปรับแก้เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลง เลือกข้อมูลแถว (row) ที่เป็นป่าทึบ และแนว (column) ที่เป็นพื้นที่สวนป่า แล้วกำหนดค่าให้เท่ากับ 0
- Run แบบจำลอง หลังจากปรับแก้ข้อมูลในเมตริกซ์เสร็จแล้ว เมื่อแบบจำลองประมวลผลเสร็จ ใช้โปรแกรม MCM แสดงข้อมูลแผนที่และเปรียบเทียบผล
- ในโปรแกรม MCK ทำการเพิ่มแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ได้จากแบบจำลองปีสุดท้าย ใน log file ซึ่งได้ดำเนินการแล้วตามข้อ 4.5 จากนั้นไปที่เมนู “Display and compare simulation results” เปรียบเทียบผลลัพธ์กับปีแรกเริ่ม และข้อมูลปีอื่น ๆ

เพื่อเป็นการแสดงถึงศักยภาพเพิ่มเติมของเมตริกซ์การเปลี่ยนแปลง ให้ดำเนินการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินใหม่ โดยกำหนดให้การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อให้สัมปทานทำเหมือง ต้องสิ้นสุดภายในเวลา 5 ปี ภาพเหตุการณ์นี้สามารถอธิบายแนวโน้มเหตุการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตได้

กล่าวคือ: พื้ที่สัมปทานเหมืองขนาดใหญ่กำลังจะปิดตัวลง เนื่องจากคยามกังกลดปัญหาด้นสิ่งแวดล้อม โดยดำเนินการ ดังนี้

- ใช้เมนู “Model parameters/Conversion matrix” ในการปรับแก้เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลง เลือกข้อมูลแถว (row) และแนว (column) ที่เป็นพื้นที่สัมปทานแหมืองแร่ (Mining concessions/Mining concessions) แล้วกำหนดค่าให้เท่ากับ -105 ซึ่งค่านี้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่มีความจำเป็นในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินหลังจากนี้เป็นเวลา 5 ปี
- อย่างไรก็ตาม หากการทำสัมปทานเหมือง ไม่สามารถเกิดขึ้นในพื้นที่ได้ ภายหลังระยะเวลา ระยะเวลา 5 ปี ดังนั้นต้องเปลี่ยนเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆอย่างน้อย 1 ประเภท มิฉะนั้นแล้วแบบจำลอง จะไม่สามารถประมวลผลได้เสร็จสิ้น ดังนั้น ให้ปรับแก้ข้อมูลจากพื้นที่สัมปทานเหมือง เป็น พื้นที่ป่าทึบ เดิมมีค่าเท่ากับ 0 ให้เป็นค่าเท่ากับ 1

.

หมายเหตุ: ในตอนเริ่มประมวลผลโดยแบบจำลอง CLUMondo แต่ละตารางกริด จะถูกกำหนดระยะเวลาต่าง ๆ จากการสุ่ม โดยที่บางตารางกริดอาจจะถูกกำหนดให้มีค่า 3 ปี หมายความว่า ตารางกริดนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ ภายหลังช่วงระยะเวลา 2 ปี

- Run แบบจำลองภายหลังจากปรับเปลี่ยนค่าในเมตริกซ์ เมื่อแบบจำลองประมวลผลเสร็จ ดำเนินการแสดงผลและเปรียบเทียบผลลัพธ์ใ โดยใช้โปรแกรม MCK
- ในโปรแกรม MCK ทำการเพิ่มแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ได้จากแบบจำลองปีสุดท้าย ใน log file ซึ่งได้ดำเนินการแล้วตามข้อ 4.5 จากนั้นไปที่เมนู “Display and compare simulation results” เปรียบเทียบผลลัพธ์กับปีแรกเริ่ม และข้อมูลปีอื่น ๆ
- แทนที่การเปรียบเทียบข้อมูลกับปีท้ายสุดใน MCK ท่านสามารถนำเข้าข้อมูลปีอื่นๆได้ทั้งหมดและทำการเปรียบเทียบกับภาพเหตุการณ์ป่าฐาน ใช้ “Per category” และเลือก Mining จากนั้นท่านจะเห็นพื้นที่ทำเหมืองซึ่งจะค่อย ๆ หายไปในแต่ละปี

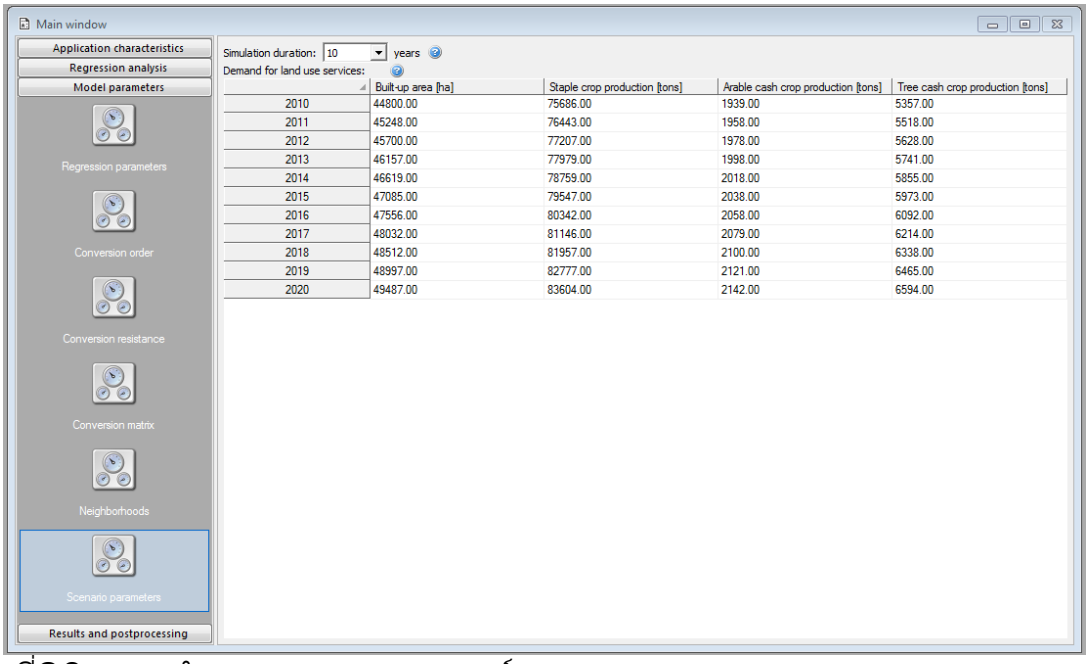
6.1.3 ภาพเหตุการณ์ (Scenario parameters)

ในส่วนของภาพเหตุการณ์ (ภาพที่ 20) ท่านสามารถระบุช่วงเวลาของการจำลอง ซึ่งมีหน่วยเป็นปีได้ (เช่น 10 ปี นับจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบัน) และยังสามารถกำหนดความต้องการใช้ที่ดินรายในปี ในการจำลองส่วนความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ และสามารถ

แก้ไขได้ในไฟล์ demand.in* ที่ถูกจัดเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล CLUMondo\Laos\CLUMondoWorking โดยกำหนดเป็นขนาดพื้นที่รวมของการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท เพื่อนำมาใช้ในการจัดสรรที่ดินของการจำลองแต่ละปี โดยขั้นตอนในการทำซ้ำ จะช่วยสร้างความมั่นใจว่ามีความแตกต่างเล็กน้อย ระหว่างประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินและความต้องการในการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะคำนวณแยกจากโปรแกรม CLUMondo เพื่อแสดงจัดสรรการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น ซึ่งสามารถได้จากการประเมินหลายวิธี ขึ้นอยู่กับพื้นที่ศึกษา และภาพเหตุการณ์ในอนาคต

ยกตัวอย่างเช่น การคาดการณ์แนวโน้มในอนาคตโดยใช้ข้อมูลในอดีต เป็นเทคนิคที่มักพบได้บ่อย ในบางครั้ง สามารถทำนายได้จากการเพิ่มขึ้นของจำยวนประชากร และ/หรือ การลดน้อยลงของทรัพยากรที่ดิน หรือการวิเคราะห์นโยบาย เช่น การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ระดับมหภาค เพื่อกำหนดความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างเป้าหมายเชิงนโยบาย กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น



ภาพที่20. การกำหนดภาพเหตุการณ์อนาคต

ขั้นตอนตอนต่อไป ดำเนินกาปรับแก้ความต้องการ ของโครงการประเทศลาว โดยเพิ่มขนาดพื้นที่ ชุมชนเมือง ภาพเหตุการณ์นี้ มีสมมติฐานว่าในอนาคตอันใกล้ ประชากรที่อาศัยในเมืองมีการเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็ว ดังนั้น จึงมีความจำเป็นในการขยายตัวพื้นที่เมือง เช่น โครงสร้างพื้นฐานและพื้นที่อุตสาหกรรม เป็นต้น กว่าวคือ พื้นที่ชุมชนเมือง มีการขยายตัวมากกว่า 10% ต่อปี ระหว่างปี ค.ศ. 2010 - 2020 ถึงแม้ว่าภาคเหตุการณ์นี้

อาจจะดูรุนแรง แต่เราก็สามารถใช้ศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสภาพแวดล้อม จากการพัฒนาได้ โดยดำเนินการ ดังนี้

- ไปที่ Model parameters / scenario parameters
- ดำเนินการสร้างภาพเหตุการณ์สมมติ โดยการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินใน “Model parameters/Scenario parameters” ซึ่งในกรณีนี้ ให้เพิ่มขนาดพื้นที่อยู่อาศัย (Built - up area) ในแต่ละปี
- กรอกข้อมูลข้างล่างนี้ ไว้ในตาราง “Scenario parameters” (สามารถคัดลอกได้จากตารางไฟล์ excel โดยใช้คำสั่ง Ctrl + c และ Ctrl + v)

year	Built-up areas [ha]
2010	44800
2011	53000
2012	57000
2013	64600
2014	73000
2015	80000
2016	87000
2017	93000
2018	100000
2019	110000
2020	120000

- สั่ง Run แบบจำลองภายหลังจากปรับแก้ความต้องการใช้ที่ดินแล้ว เมื่อแบบจำลองประมวลผลเสร็จ แสดงผลและทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ โดยใช้โปรแกรม MCK
- ในโปรแกรม MCK ทำการเพิ่มแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ได้จากการจำลองในปีสุดท้าย ใน log file ที่ได้ดำเนินแล้วตามข้อ 4.5 จากนั้นไปที่ “Display and compare simulation results” เปรียบเทียบผลลัพธ์กับปีเริ่มต้น กับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในปีอื่น

ๆ

7 การจำลองนโยบายเชิงพื้นที่ (Simulating Spatial policies)

เครื่องมือการวางแผนและนโยบายหลายอย่าง สามารถนำมาใช้ ในการกำหนดการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตได้ ในแบบฝึกหัดนี้ ท่านจะได้เรียนรู้การนำมาตรการเหล่านี้ ไปใช้ในแบบจำลองสถานการณ์ของ CLUMondo ในการดำเนินการ ต้องจัดเตรียมแผนที่ที่กำหนดขอบเขตที่จะดำเนินการนโยบายเชิงพื้นที่ นโยบายเชิงพื้นที่บางอย่าง กำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทุกประเภทในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เช่น ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติห้ามมีการทำไม้ บางนโยบายห้ามไม่หมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบางประเภท เช่น การก่อสร้างที่อยู่อาศัยในพื้นที่การเกษตร ในแบบฝึกหัดนี้ท่านจะได้ฝึกหัดกำหนดนโยบาย ที่ห้ามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทุกประเภท ในพื้นที่ที่กำหนด

7.1 การเพิ่มชั้นข้อมูลพื้นที่หวงห้าม (Exclusion layers)

ไฟล์ข้อมูลพื้นที่หวงห้าม (area restriction) เป็นข้อมูลที่นำมาในการกำหนด พื้นที่ที่ไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตัวอย่างแผนที่ตัวที่ใช้ในแบบฝึกหัดนี้ สามารถเลือกได้จาก ส่วนประสานกับผู้ใช้ (user interface) ที่เมนู **'Application characteristics'** ในหัวข้อ **section 'Exclusion layers'**

ไฟล์ **'region_park.fil'** เป็นชั้นข้อมูลแผนที่พื้นที่คุ้มครอง ซึ่งภายในพื้นที่นี้ ไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังภาพที่ 21 ซึ่งสามารถนำเข้ามาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื่องจากจัดเก็บข้อมูลเป็นไฟล์ ASCII raster การดำเนินงานมีขั้นตอนเหมือนกับ การนำเข้าข้อมูลอื่น ๆ ในการจำลอง ไฟล์ตัวอย่างที่แสดงพื้นที่แหล่งธรรมชาติที่ถูกสงวนไว้ เป็นพื้นที่ที่ไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

การดำเนินงาน มีขั้นตอนดังนี้

ภาพที่21. ตัวอย่างพื้นที่หวงห้าม

- เปิดการใช้งานโปแกรม CLUMondo (หากยังไม่ได้เปิดโปรแกรม) จากนั้นให้เปิดโครงการ Laos application
- ไปที่เมนู 'Exclusion layers' ซึ่งซ่อนอยู่ในแท็บ Application characteristics ท่านจะเห็นว่า Normal region map (ไม่มีพื้นที่หวงห้าม) ถูกเลือกใช้งานอยู่ ให้เปลี่ยนเป็น Region_park exclusion layer โดยการคลิกที่ปุ่มตัวเลือกด้านหน้าของมัน
- Run แบบจำลอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนค่าปัจจัยอื่น ๆ หลังจากเสร็จสิ้นการประมวลผล แสดงผลและเปรียบเทียบผลลัพธ์ โดยใช้โปรแกรม Map Comparison Kit (MCK)
- ในโปรแกรม MCK ให้เพิ่มแผนที่ได้จากแบบจำลองในปีสุดท้ายไปยัง .log file ซึ่งได้ดำเนินการไว้แล้วใน (ขั้นตอน) ส่วน 4. 5 'Display and compare simulation results' เปรียบเทียบผลกับปีเริ่มต้น และผลการจำลองปีอื่น ๆ

-

7.2 พื้นที่หวงห้ามอื่น ๆ (Other exclusion areas)

นอกจากอุทยานแห่งชาติ สามารถกำหนดพื้นที่มีอื่น ๆ เป็นพื้นที่หวงห้ามได้ เช่น พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ลาดชันที่เสี่ยงต่อการกัดเซาะดิน หรือพื้นที่สูง เป็นต้น ในแบบฝึกหัด ท่านจะได้กำหนดพื้นที่ที่ที่มีระดับความสูงของมากกว่า 1,000 เมตร เป็นพื้นที่หวงห้าม ซึ่งนโยบายเชิงพื้นที่นี้ จะช่วยปกป้องกัน ไม่ให้เกิดความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม อันผลมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

เช่น การทำลายป่า หรือการขยายพท้นที่เมือง ในพื้นที่สูงชัน เป็นต้น โดยดำเนินการ ดังนี้

- ไปที่ 'Exclusion layers' ซึ่งอยู่ในส่วนของแท็บ Application characteristics จากนั้นเลือก 'region_1000.asc' เพื่อกำหนดเป็นชั้นข้อมูลเขตหวงห้าม
- Run แบบจำลอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนค่าปัจจัยอื่น ๆ หลังจากประมวลผงเสร็จสิ้น แสดงผลและเปรียบเทียบผลลัพธ์ โดยใช้โปรแกรม Map Comparison Kit (MCK)
- ในโปรแกรม MCK เพิ่มแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ได้จากแบบปีสุดท้าย ไปยังแฟ้ม .log file ซึ่งได้ดำเนินการจัดทำไว้แล้ว ในขั้นตอน 4.5 'Display and comparison simulation results' แสดงผลและเปรียบเทียบผลลัพธ์ ที่ได้จากการจำอลงในปีอื่น ๆ

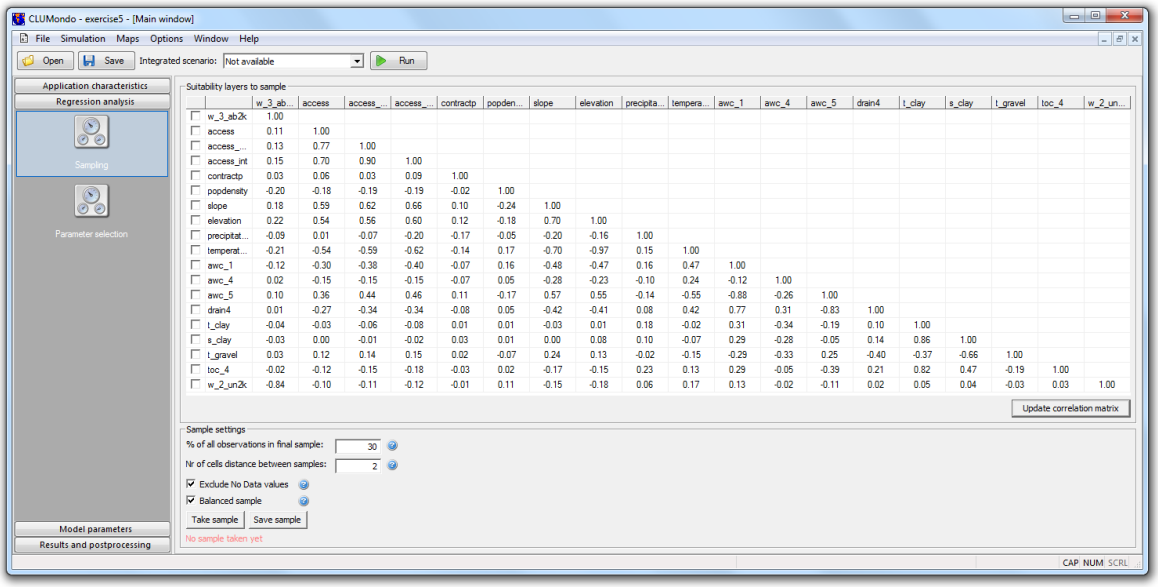
หมายเหตุ: ท่านสามารถใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการจัดทำพื้นที่หวงห้ามได้ เช่น เราสามารถกำหนดพื้นที่ที่อยู่ห่างแหล่งน้ำ, พื้นที่ที่มีความลากชันมากกว่าที่กำหนด พื้นที่ที่ห่างไกลจากถนน ท่าสามารถนำพื้นที่หวงห้าม เข้าสู่แบบจำลอง โดยการคลิกที่เมนู 'add exclusion layer' หมายเหตุ ชั้นข้อมูลเหจตหวงห้าม ต้องมีระบบค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ และขอบเขตเหมือนกับแผนที่การใช้ที่ดิน รายละเอียดเพิ่มเติม สามารถศึกษาได้จากคู่มือการใช้งาน

8 การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) (แบบฝึกหัด)

ในแบบฝึกหัดบทนี้ ท่านจะได้วิเคราะห์ว่า ปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการดำเนินการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติก (Logistic regression analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (explanatory or indepent variables) หนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งตัวแปร (เช่น ชนิดดิน ความสูง และการเข้าถึง) และตัวแปรตาม (depent variables) คือ การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท โดยดำเนินการ ดังนี้

- เปิดแบบจำลอง CLUMondo (หากยังไม่ได้เปิด) เปิดโครงการ Laos application อย่าเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยใด ๆ ของแบบจำลอง
- ในขั้นตอนแรก คำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอิสระ โดยการคลิกที่ปุ่ม **'Update correlation matrix'** ใน section **'Regression analysis/Sampling'** แบบจำลอง CLUMondo ผลการคำนวณ ดังภาพที่ 22

- เมื่อคำนวณเสร็จแล้ว ท่านจะเห็นค่า **multicollinearity** ในตารางผลลัพธ์ ซึ่งค่าบ่งบอกว่า ปัจจัยอิสระมีความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด ซึ่งการวิเคราะห์ที่เหมาะสมนั้น ปัจจัยอิสระ ต้องมีความแตกต่างกันพอสมควร (ไม่มีความสัมพันธ์กัน)
- การเลือกชั้นข้อมูลแผนที่ ปัจจัยอิสระ ที่มีค่าความสัมพันธ์ น้อยกว่า 0.8 หากชั้นข้อมูลแผนที่คู่หนึ่งคู่ใด มีความสัมพันธ์มากกว่า 0.8 ให้พิจารณาเลือกเพียงชั้นข้อมูลเดียว หลังจากเลือกชั้นข้อมูลแผนที่ที่กำหนดเป็นปัจจัยอิสระเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่เมนู **'Take sample'**



ภาพที่22. การคำนวณ Correlation matrix

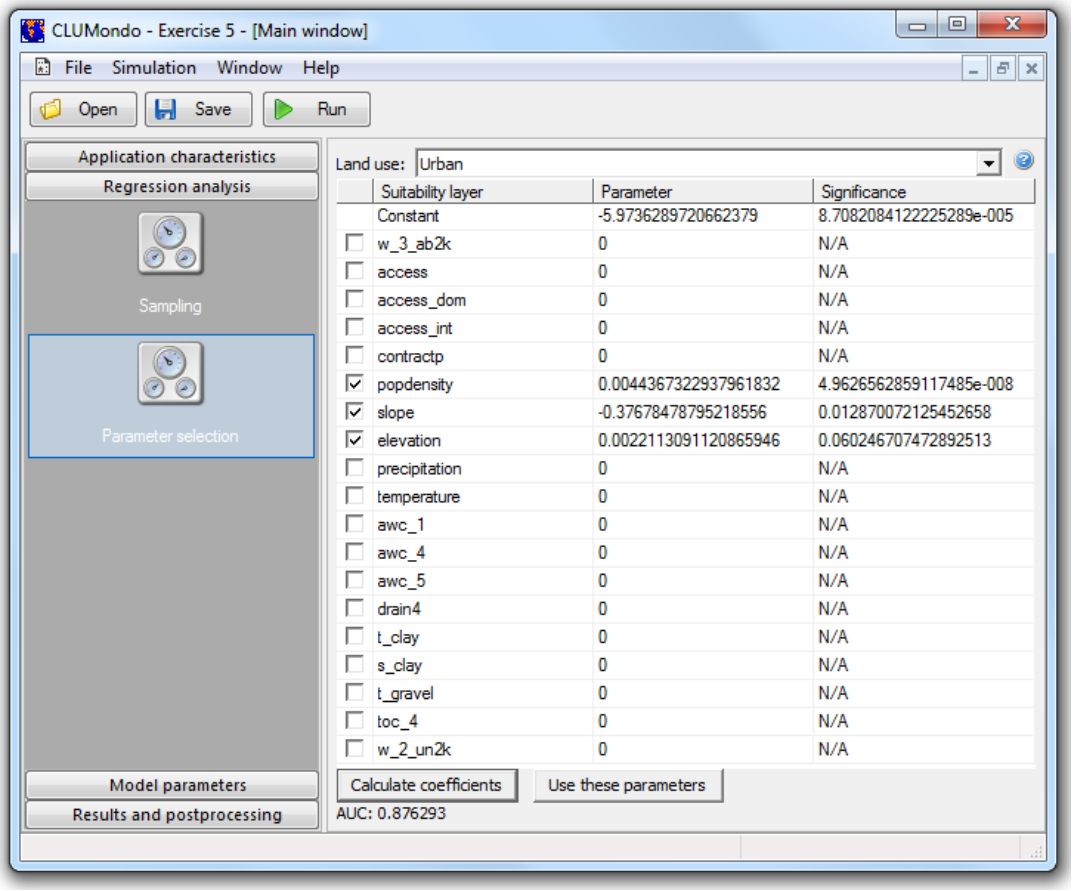
- คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ ได้ที่เมนู **'Parameter selection'** (ภาพที่ 23) เลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์โดยการเลือกชั้นความเหมาะสม (ทั้งหมด) และคลิกที่ **'Calculate coefficients'**

ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลว่า ปัจจัยความเหมาะสมหรือปัจจัยอิสระ (suitable layers or independent variables) ใดบ้าง มีนัยสำคัญต่อการเลือกใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ดังนี้น ค่าสัมประสิทธิ์ควรมีค่าน้อยกว่า 0.05 ถ้าให้ดีควรน้อยกว่า 0.01 ค่าสัมประสิทธิ์ ขึ้นอยู่กับจำนวนของชั้นมูลปัจจัยอิสะที่ให้ในการวิเคราะห์หาความเหมาะสม ดังนั้น ในขั้นตอนการประมวลผล แบบจำลองจะมีวิเคราะห์ซ้ำๆ จนกระทั่งได้ชั้นข้อมูลเพื่อมา

วิเคราะห์ความเหมาะสมของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (suitability layers) โดยดำเนินการ ดังนี้

- ไม่เลือกชั้นข้อมูลความเหมาะสมที่มีค่าสัมประสิทธิ์ > 0.05 แล้วดำเนินการคำนวณใหม่ โดยการคลิก 'Calculate coefficients' ทำซ้ำ ๆ จนกระทั่งได้ชั้นความเหมาะสมที่มีนัยสำคัญ (ค่าสัมประสิทธิ์ < 0.05) และมีจำนวนน้อยกว่า 7 ชั้นข้อมูล
- ในบางกรณี CLUMondo จะมีข้อความเตือนว่า 'ไม่สามารถหาคำตอบได้ (Could not find a stable solution) ให้ตรวจสอบค่า parameters'. ในกรณีนี้ให้ยกเลิกการเลือกชั้นความเหมาะสมหนึ่งบางชั้นข้อมูล แล้วดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลใหม่
- หลังจากเลือกชั้นข้อมูลความเหมาะสม จำนวนสูงสุดไม่เกิน 7 ชั้นข้อมูล คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ โดยคลิกที่ ' Use this coefficients' ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการถดถอยโลจิสติก (Regression parameters matrix') ในเมนู Model parameters' จะถูกปรับแก้ตามผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์
- ดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้น กับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เหลือ

หมายเหตุ: ที่ด้านล่างของหน้าต่าง **'Parameter selection'** มีข้อมูลเกี่ยวกับค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (area under curve: **'AUC')** ซึ่งค่านี้บอกค่า “ความถูกต้อง” ของสมการถดถอยโลจิสติก โดยมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่ามากกว่า 0.9 หมายถึง ดีเยี่ยม ค่าระหว่าง 0.8 และ 0.9 ดี และค่าระหว่าง 0.7 และ 0.8 พอใช้ ส่วนค่าต่ำกว่า 0.7 หมายถึง มีความถูกต้องน้อย และค่าต่ำกว่า 0.6 อยู่ในระดับความถูกต้องน้อยมาก การทำตามวิธีการข้างต้น ท่านสามารถ คัดเลือกชั้นข้อมูลและค่าสัมประสิทธิ์ ในการประเมินความเหมาะสมของที่ดิน โดยสมการถดถอย ในแบบจำลอง CLUMondo ในเวลาเดียวกัน



ภาพที่23. การคำนวณคาสัมประสิทธิ์สมการถดถอย Regression coefficients

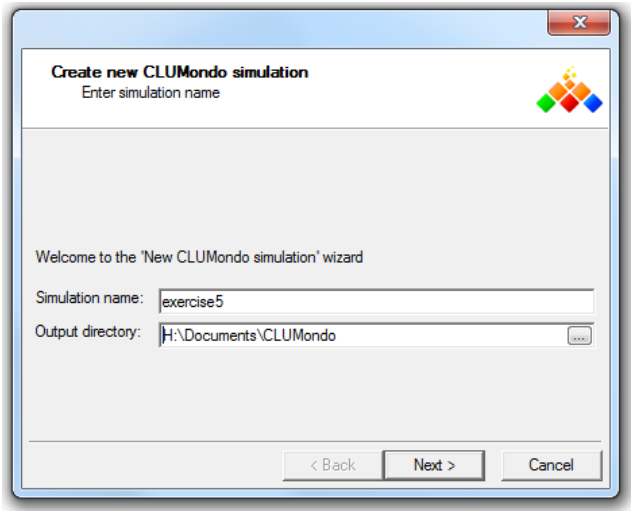
9 การสร้างโครงการหรือ Application ใหม่ (แบบฝึกหัด)

ในแบบฝึกหัดก่อนหน้านี้ ท่านได้ศึกษาโมเดล CLUMondo และได้เรียนรู้วิธีการปรับแก้ข้อมูลของข้อมูลนำเข้า และภาพเหตการณ์ในอนาคต ในแบบฝึกหัดนี้ ท่านจะได้รับแนะนำแต่ละขั้นตอนในการสร้างโครงการใหม่หรือ new application สำหรับกรณีศึกษาในประเทศลาว กล่าวคือ ท่านจะได้กำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงใช้ที่ดิน ระหว่างปี ค.ศ. 2010 ถึงปี ค.ศ. 2020 โดยใช้ข้อมูลชุดเดิม ที่ได้ใช้ในโครงการ Laos โดยดำเนินการ ตามขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่1: เริ่มต้นที่การสร้างโครงการใหม่ (a new CLUMondo simulation project)

- เปิดโปรแกรม CLUMondo แต่ไม่โครงการที่มีอยู่ แต่เริ่มสร้าง Project ใหม่ ที่เมนู File / New project ตั้งชื่อที่เหมาะสมตามความต้องการ เช่น 'New Laos application' และกำหนด directory ที่

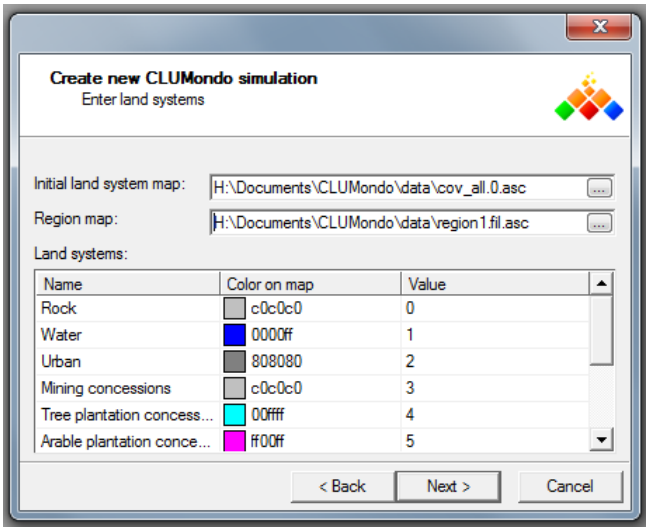
ต้องการบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง (ภาพรที่ 24) แล้วคลิก 'Next'



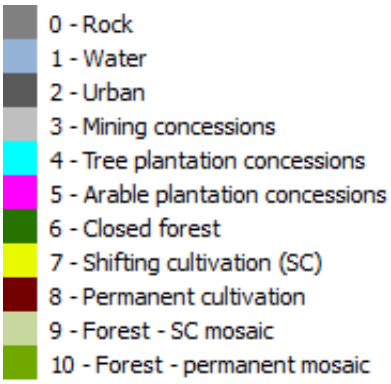
ภาพที่24. สร้างโครงการใหม่ ของแบบจำลอง

- ระบุการใช้ประโยชน์ที่ดินปีเริ่มต้น และแผนที่ Region map ท่านสามารถค้นหาข้อมูลเหล่านี้ได้ในแฟ้มข้อมูล Laos/Data กำหนดให้ 'cov_all.0.asc' เป็นแผนที่การใช้ที่ดินปีเริ่มต้น และ 'region1.asc'เป็นแผนที่ ขอบเขตการศึกษา (ภาพที่ 25)
- โปรแกรม สามารถทราบจำนวนประเภทของการใช้ที่ดินโดยอัตโนมัติ แต่จะไม่ทราบชื่อหรือสัญลักษณ์ที่แสดง ดังนั้น ให้ดำเนินการกำหนดกำหนดชื่อและปรับแก้สี (สัญญลักษณ์) ของประเภทการใช้ที่ดินตามความเหมาะสม ดังภาพที่ 26

หมายเหตุ: หลังจากที่ได้สร้างโครงการใหม่เรียบร้อยแล้ว ท่านไม่สามารถเปลี่ยนชื่อโครงการหรือคำอธิบายสัญญลักษณ์ได้อีก ดังนั้น แนะนำให้ดำเนินการอย่างครบถ้วน ดีกว่าการรีบร้อนดำเนินการให้เสร็จ



ภาพที่25. การเลือกแผนที่การใช้ที่ดินปีเริ่มต้น และ Region map

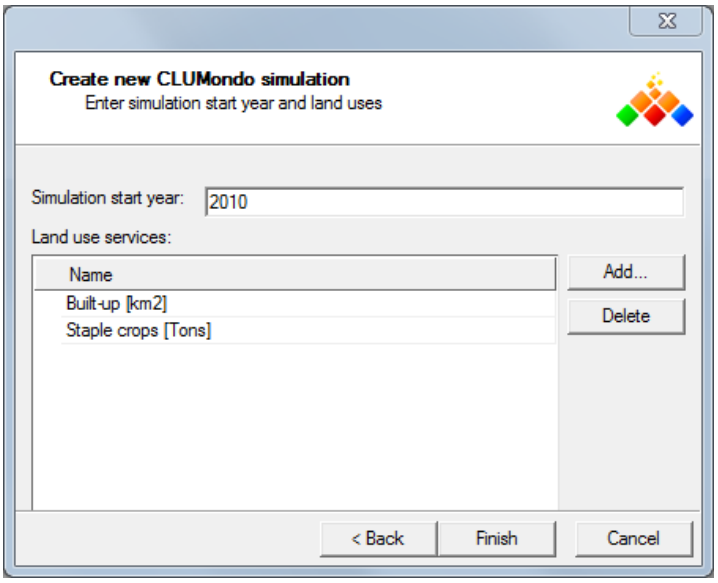


ภาพที่ 26. ตัวอย่างการกำหนดชื่อประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสีของสัญญลักษณ์

- คลิก 'Next' เมื่อกำหนดชื่อประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสีของสัญญลักษณ์ ทั้งหมดแล้ว
- กำหนดปีเริ่มต้นของการจำลอง ทั้งปีที่กำหนดควรสอดคล้องกับปีของแผนที่การใช้ที่ดินเริ่มต้น สำหรับโครงการประเทศลาว คือปี ค.ศ. 2010
- กำหนดประเภทบริการที่ได้รับจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use services) เช่น สินค้าหรือบริการ ตามที่ได้ดำเนินการในส่วนความต้องการการใช้ที่ดิน (land demand) ในแบบจำลอง เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดิน และบริการ ในแบบฝึกหัดนี้

กำหนดความต้องการที่อยู่อาศัย (Built-up area [km^2]) และผลผลิตการเกษตร (Staple crops [ตัน]) เพื่ออำนวยความสะดวกในการแปลตีความ แนะนำให้กำหนดหน่วยวัดเรียบร้อยในขั้นตอนนี้ด้วย (ภาพที่ 27)

หมายเหตุ หน่วยวัด ที่กำหนดในแบบฝึกหัดนี้ แตกต่างจากตัวอย่างในแบบฝึกหัด (โครงการ application) ก่อนหน้านี้



ภาพที่27. การกำหนดปีเริ่มต้นของแบบจำลอง และการเพิ่มความต้องการการใช้ที่ดิน

- คลิกที่ 'Finish' เมื่อตั้งค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว
- ถึงแม้ว่า ได้มีการสร้างโครงการใหม่แล้ว แต่ท่านยังไม่สามารถสั่งประมวลผลแบบจำลอง (Run) ได้ เนื่องจากยังไม่ได้มีการกำหนดปัจจัย หรือไม่มีการป้อนข้อมูล เพื่อใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนต่อไป ท่านจะดำเนินการปรับแก้รายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ภายใต้โครงการ
- เราสามารถบันทึกการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำงานได้ตลอดเวลา โดยการคลิกปุ่ม 'Save' หรือ File / Save project แนะนำให้ท่านสั่งบันทึกข้อมูลทุกครั้ง ที่มีการปรับแก้ข้อมูล เพื่อป้องกันการสูญหาย

ขั้นตอนที่2: การแก้ไขรายละเอียดของโครงการ (Application characteristics)

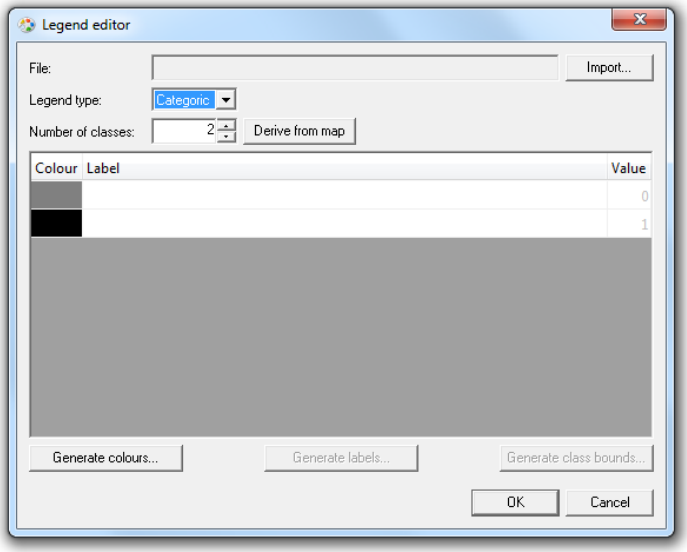
ขั้นตอนต่อไป คือ การกรอกข้อมูลโครงการให้สมบูรณ์ โดย เริ่มต้นจากการเพิ่มชั้นข้อมูลแผนที่ที่ใช้เป็นปัจจัยอิสะ ในการประเมินความเหมาะสมของการใช้ประโยชน์ที่ดิน

- ในเมนู Application characteristics/ suitability layers ให้คลิก 'Add ' เพื่อเพิ่มชั้นข้อมูล และเลือก 'sc1gr0.fil' ตั้งชื่อเป็น 'w_3_ab2k' เลือก 'Create a new legend' และคลิกที่ 'Edit legend' แผนที่นี้เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ท่านสามารถแสดงสัญญลักษณ์ของแผนที่อัตโนมัติ โดยการเลือก 'Categoric' legend type และคลิกที่ 'Derive from map' (ภาพที่ 29) ท่านสามารถเปลี่ยนสีสัญญลักษณ์ตามต้องการ คลิกที่ 'Ok' หากต้องการบันทึกสัญญลักษณ์ที่ได้ปรับแก้ ให้โดยพิมพ์ชื่อในช่อง 'Create new legend'
- คำอธิบายรายละเอียดของแต่ละชั้นข้อมูลแผนที่ ดูได้ที่ 'Section 2 กรณีศึกษา (Case study)

Suitability layers:

	Layer name	File	
☐	w_3_ab2k	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr0.fil.asc	Show
☐	access	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr1.fil.asc	Show
☐	access_dom	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr2.fil.asc	Show
☐	access_int	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr3.fil.asc	Show
☐	contractp	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr4.fil.asc	Show
☐	popdensity	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr5.fil.asc	Show
☐	slope	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr6.fil.asc	Show
☐	elevation	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr7.fil.asc	Show
☐	precipitation	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr8.fil.asc	Show
☐	temperature	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr9.fil.asc	Show
☐	awc_1	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr10.fil.asc	Show
☐	awc_4	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr11.fil.asc	Show
☐	awc_5	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr12.fil.asc	Show
☐	drain4	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr13.fil.asc	Show
☐	t_clay	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr14.fil.asc	Show
☐	s_clay	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr15.fil.asc	Show
☐	t_gravel	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr16.fil.asc	Show
☐	toc_4	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr17.fil.asc	Show
☐	w_2_un2k	H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr18.fil.asc	Show

ภาพที่28. ตัวอย่าง Suitability layers

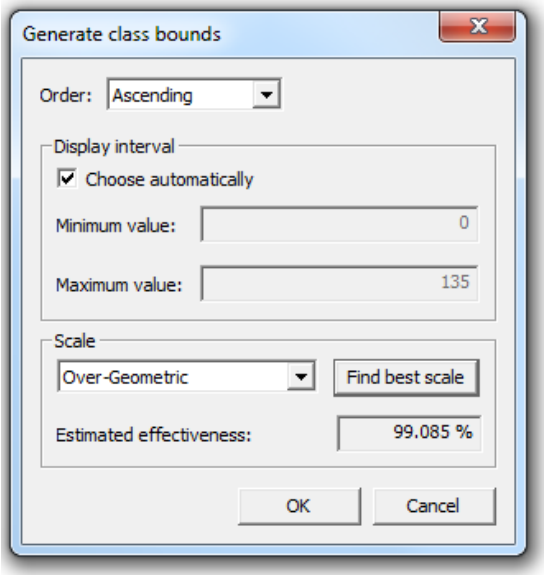


ภาพที่29. การแก้ไขสัญญาลักษณ์ (Legend editor) สำหรับ Categorical map

- เพิ่มชั้นข้อมูลแผนที่ 'sc1gr1.fil' และชื่อกำหนดชื่อเป็น 'access' (การเข้าถึงพื้นที่) ชั้นข้อมูลแผนที่นี้ เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข ดังนั้น สัญญลักษณ์ที่ใช้จะแตกต่างกับแผนที่ข้างต้น ดังนั้น ให้สร้างสัญญลักษณ์หใม่ โดยเลือก 'numeric' legend type (สัญญลักษณ์เชิงตัวเลข) และเลือก 10 classes (ช่วงชั้น) ใน section 'Number of classes' หลังจากนั้นให้คลิกที่ 'Generate class bounds' เลือก 'Choose automatically' (เลือกอัตตโนมัติ) และคลิกที่ปุ่ม 'Find best scale' (แบ่งช่วงชั้นที่เหมาะสมที่สุด) (ภาพที่ 30) ปิดหน้าต่างโดยการคลิก 'Ok' และคลิกที่ 'Generate labels' (สร้างสัญญลักษณ์) สุดท้ายให้คลิกที่ 'Generate colors' (สร้างสีสัญญลักษณ์) และเลือกระดับความเข้มข้นของสี (color gradient) ปิดหน้าต่างและตั้งชื่อในช่องว่างที่ให้มา ('Create new legend') ดำเนินการขั้นตอนต่าง ๆ สำหรับแผนที่เชิงตัวเลขทั้งหมด

หมายเหตุ: ท่านสามารถนำเข้าสัญญลักษณ์ที่มีอยู่แล้ว สำหรับการใช้งานในอนาคต ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องดำเนินการแก้ไข Legend ทุกครั้ง หลังจากกำหนดชื่อของชั้นข้อมูลความเหมาะสม และนำเข้าข้อมูลแผนที่ เลือก 'Create new legend' (สร้างสัญญลักษณ์ใหม่) แล้วเรียกใช้สัญญลักษณ์โดยการคลิก 'Edit legend / import' พิมพ์ชื่อสัญญลักษณ์ที่ต้องการใช้งาน

- หลังจากที่เพิ่มชั้นความเหมาะสมสำเร็จ เมนู 'Suitability layers' มีลักษณะคล้ายกับภาพที่ 28 หากต้องการแสดงผล คลิกที่ปุ่ม 'Show'



ภาพที่30. การกำหนดช่วงชั้นของแผนที่เชิงตัวเลข

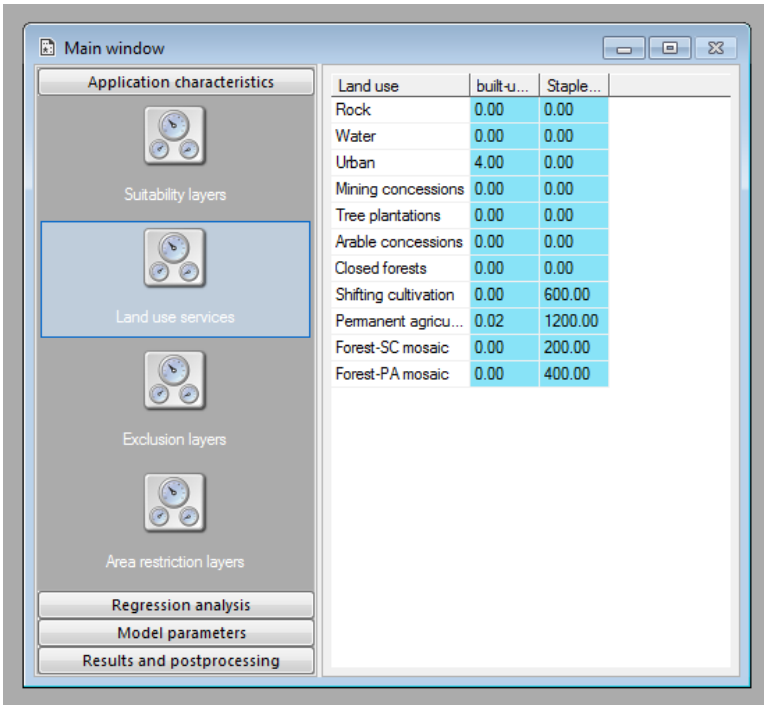
ในขั้นตอนต่อไป เป็นการกำหนดบริการของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ('Land-use services') เพื่อบ่งบอกศักยภาพของตารางกริดใดตารางกริดหนึ่ง ของแต่ละประเภทการใช้ที่ดินในการผลิต เช่น ที่อยู่สักยภาพในการเป็นที่อาศัยต่อตารางกิโลเมตร หรือผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งตัวเลขประมาณการเหล่านี้ ได้จากข้อมูล และรูปแบการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ตัวอย่างเช่น ความต้องการที่อยู่อาศัย มักแสดงไว้ในหน่วยตารางกิโลเมตร หากชั้นข้อมูลแผนที่ความละเอียดของตารางกริด กว้าง/ยาว 2 กม. ดังนั้น หนึ่งตารางกริดมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 4 ตารางกิโลเมตร แต่อย่องไรก็ตามท่านอจามีข้อโต้แย้งว่า ที่อยู่อาศัย สามารถพบได้ในพื้นที่เกษตรกรรมถาวรได้เช่นเดียวกัน หรือมีอยู่ในหมู่บ้าน

ในทำนองเดียวกัน ผลผลิตทางเกษตรสามารถได้จากการใช้ประโยชน์ที่ดินหลายระบบและหใผลผลิตแตกต่างกัน เช่น นาข้าว ในประเทศลาว ขนาด 1 เฮกแตร์ สามารถผลิตประมาณ 4,000 กก. ต่อปี แต่ในความเป็นจริง พื้นที่ทั้งหมด ไม่ได้เป็นพื้นที่ถาวรหรือใช้สำหรับการผลิตข้าวทั้งหมด ดังนั้น หากคาดคะเนว่า ใน 1 ตารางกริด ใช้ปลูกข้าว ประมาณ 75% ของพื้นที่ตารางกริด

ดังนั้น สามารถผลิตข้าวได้ 0.75 * 4 [ตัน / ไร่] * 400 [เฮกตาร์ / เซลล์] = 1,200 ตัน

- ป้อนข้อมูลลงในเมตริกซ์บริการของการใช้ที่ดิน ดังภาพที่ 31



ภาพที่30. เมตริกซ์บริการของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use services matrix)

หมายเหตุ: เมื่อท่านใช้ข้อมูลในพื้นที่ศึกษาของท่านเอง การกำหนดค่าเหล่านี้ต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ระบบการใช้ที่ดินที่ในพื้นที่ศึกษา โดยทั่วไปใช้ค่าเฉลี่ยของบริการที่ได้รับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใดประเภทหนึ่งในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถหาข้อมูลจากหลายแหล่ง เช่น แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน สถิติทางการเกษตร สัมปทาน และความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เป็นต้น

- ขั้นตอนสุดท้ายของการกำหนดรายละเอียดโครงการ คือ การกำหนดพื้นที่หวงห้าม (Exclusion layers) ในแบบฝึกหัดนี้ สามารถใช้แผนที่ขอบเขตอุทยานแห่งชาติในประเทศลาวได้
- คลิกที่ 'Add exculsion layers' และเพิ่มแผนที่ park.fil กำหนดสัญญลักษณ์สำหรับแผนที่เชิงคุณภาพ ตามที่ได้อธิบายในห้วข้อนโยบายเชิงพื้นที่ (Spatial policies)

ขั้นตอนที่3: การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติก

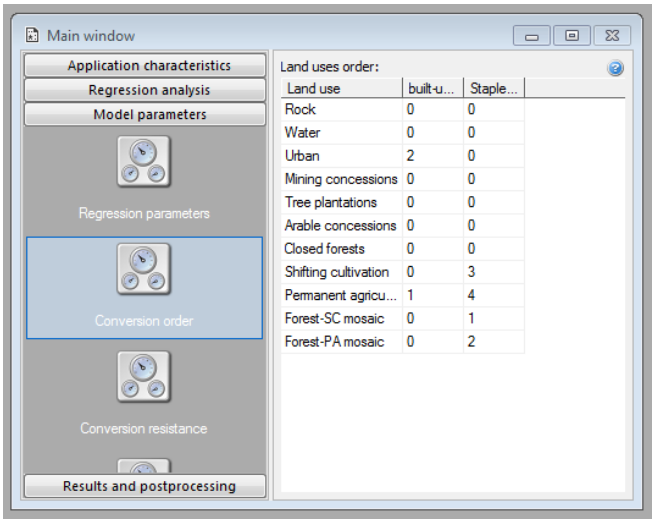
ขั้นตอนต่อไปในการสร้างโครงการใหม่ คือ การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติก ให้ไปอ่านรายละเอียดของการวิเคราะห์ซึ่งได้กล่าวไว้แล้ว ในแบบฝึกหัดก่อนหน้านี้ หมายเหตุ ต้องดำเนินการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติก สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินทุกประเภท

ขั้นตอนที่4: การกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ของแบบจำลอง และภาพเหตุการณ์ในอนาคต (model parameters and scenarios)

หลังจากเสร็จสิ้นการดำเนินการวิเคราะห์การถดถอย ขั้นตอนต่อไป เป็นการกำหนดรายละเอียดของแบบจำลอง ในบางกรณี ท่านสามารถใช้ค่า default (ค่าที่กำหนดเบื้องต้นโดยแบบจำลอง) เพื่อลองประมวลผลแบบจำลอง หากสามารถ Run แบบจำลองได้ ค่อยปรับแก้รายละเอียดต่อไป สามารถดูรายละเอียดของ 'Model parameters' ได้ในแบบฝึกหัด 'Land use change scenarios modeling' ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการ ดังนี้

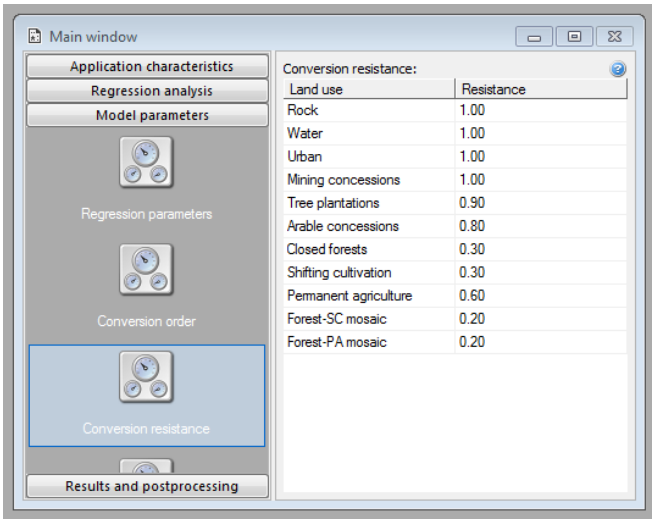
ขั้นแรก กำหนดลำดับความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (conversion order) ซึ่งเป็นข้อมูลทางวิชาการ ที่บ่งบอกว่าการเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใด สามารถตอบสนองความต้องการ หรือบริการของระบบนิเวศ โดยมีค่าเป็นจำนวนเต็มจากน้อยไปมาก ค่ามากแสดงว่าสามารถตอบสนองความต้องการหรือมีอุปทาน (supply) มาก หากไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้ ให้กำหนดค่าเป็น 0 แต่ถ้าสามารถตอบสนองความต้องการได้ ให้กำหนดค่าตั้งแต่ 1 ขึ้นไป

- ตัวอย่าง ลำดับความสำคัญของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อตอบสนองความต้องการ แสดงไว้ในภาพที่ 32



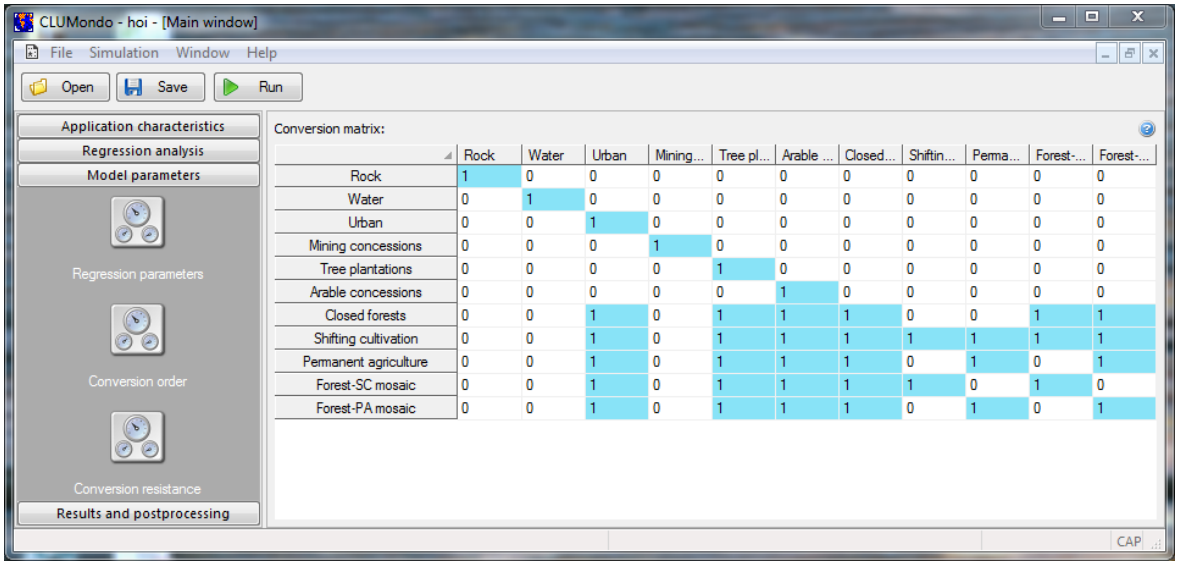
ภาพที่32. ค่าลำดับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

- ขั้นตอนที่สอง กำหนดความความทนทาน หรือความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง (conservation resistance factor) ตามที่อธิบายไว้ในแบบฝึกหัดที่ 2 ความความทนทาน มีค่าระหว่าง 0 และ 1 ภาพที่ 33 แสดงตัวอย่างค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง สำหรับโครงการนี้



ภาพที่33. ค่าความทนทาน (วามยืดหยุ่น) ต่อการเปลี่ยนแปลง (Conversion resistance)

- ขั้นตอนที่สาม ของจัดทำข้อมูลรายละเอียดของแบบจำลอง (model parameters) คือ การกำหนดเมตริกซ์การแปลง (conversion matrix) โดยกำหนดว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ หรือเปลี่ยนไม่ได้ ทั้งนี้ ต้องพิจารณามิติด้านเวลาละข้อจำกัดด้านพื้นที่ด้วย ให้ดูรายละเอียดวิธีการกำหนด ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อ Conversion matrix ของแบบฝึกหัดที่ 2
- ภาพที่ 34 แสดงตัวอย่างเมตริกซ์การเปลี่ยนแปลง (conversion matrix) สำหรับโครงการประเทศลาว



ภาพที่34. ตัวอย่าง Conversion matrix

หมายเหตุ: ท่านสามารถคัดลอกข้อมูลจากโปรแกรม spreadsheet เช่น Excel แล้วมาวางในแบบจำลอง CLUEMondo ได้

ขั้นตอนสุดท้ายในการจัดเตรียมรายละเอียดของแบบจำลอง (model parameters) คือการจัดทำภาพเหตุการณ์ในอนาคต (scenario parameters) ขั้นแรก คือ การคำนวณบริการของระบบนิเวศ ที่ได้จากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในปีเริ่มต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ประเภทของบริการนิเวศ ที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น และจำนวนตารางกริด (ขนาดพื้นที่) ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ของแผนที่ปีเริ่มต้น

ยกตัวอย่าง เช่น แต่ละตารางกริดมีขนาดพื้นที่ 4km^2 ถ้าหากเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เมือง สามารถใช้ประโยชน์เป็นที่อยู่อาศัยได้ 100% แต่หากจำแนกเป็นพื้นที่เกษตรกรรมถาวร สามารถใช้เป็นที่อยู่อาสัยได้ ประมาณ 0.02 km^2 ที่เหลือเป็นพื้นที่เกษตรกรรม หากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปีเริ่มต้น มีพื้นทีเมือง ครอบคลุม 112 ตารางกริด และเป็นพื้นที่เกษตรกรรมถาวร จำนวน 14,290 กริด ดังนั้น สามารถใช้เป็นที่อยู่อาศัยได้เท่ากับ (4 * 112) + (0.02 * 14,290) = 448 + 285.8 = 733.8 km2

ในทำนองเดียวกัน ท่านสามารถคำนวณผลผลิตทางการเกษตร (อาหาร) ในปี ค.ศ. 2010 ได้เท่ากับ 27,565,600 ตัน หากใช้ตัวเลขที่ได้เสนอไว้ตาม

ข้างต้น หมายเหตุ การคำนวรหาขนาดพื้นที่ หรือตารางกริด สามารถดำเนินการโดยง่าย โดยใช้โปรแกรม Map Comparison Kit (MCK)

ท่านสามารถกำหนดความต้องการใช้ที่ดินในอนาคต ได้ตามต้องการ เช่น ร้อยละต่อปี เป็นต้น

- กำหนดจำนวนปีที่ต้องการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และระบุความต้องการบริการของระบบนิเวศรายปี ในแบบฝึกหัดนี้ กำหนดระยะเวลา 15 ปี ใน 'Simulation duration'
- จากนั้น ระบุความต้องการบริการของระบบนิเวศ จากการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี ค.ศ. 2010 ดังตารางที่ 2 ซึ่งกำหนดให้เพิ่มขึ้นร้อยละ 2% ต่อปี

ตารางที่2. ความต้องการบริการของระบบนิเวศ (**Demand for land use services**)

	built-up [ha]	**staple crops [tons]**
2010	734	27565600
2011	748	28116912
2012	763	28679250
2013	779	29252835
2014	794	29837892
2015	810	30434650
2016	826	31043343
2017	843	31664210
2018	860	32297494
2019	877	32943444
2020	894	33602313
2021	912	34274359
2022	931	34959846
2023	949	35659043
2024	968	36372224
2025	988	37099668

ขั้นตอนที่ 5: การประมวลผล (Run) แบบจำลองและการแสดงผล

หลังจาก ได้นำเข้าข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติ กำหนดรายละเอียดของแบบจำลอง และภาพเหตุการณ์ในอนาคต ท่านสามารถสังประมวลผลแบบจำลอง โดยการกดปุ่ม 'Run'

- หลังจากแบบจำลองประมวลผลเสร็จสิ้นแล้ว ให้แสดงผลและเปรียบเทียบผลลัพธ์โดยใช้โปรแกรม Map Comparison Kit (MCK)
- ในโปรแกรม MCK ให้เพิ่มชั้นข้อมูลแผนที่ได้จากแบบจำลองปีสุดท้าย ในไฟล์ .log file ซึ่งได้ดำเนินการแล้วใน section 4.5 'Display and compare simulation results' เปรียบเทียบกับอผนที่ปีเริ่มต้น และที่ได้จากการจำลองปีอื่น ๆ

ขอแสดงความยินดี ท่านได้จัดเตรียมข้อมูลและประมวลผลแบบจำลอง CLUMondo สำหรับโครงการใหม่ ที่เริ่มจากศูนย์เรียบร้อยแล้ว โปรดศึกษาและสร้างความคุ้นเคยกับแบบจำลองเพิ่มเติม โดยการปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยและภาพเหตุการณ์ในอนาคต และตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยและภาพเหตุการณ์ ต่อแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและบริหารของระบบนิเวศ

เอกสารอ้างอิง

Eitelberg, D.A., van Vliet, J., Verburg, P.H., 2015. A review of global potentially available cropland estimates and their consequences for model-based assessments. Glob. Change Biol. 21, 1236–1248. doi:10.1111/gcb.12733

van Asselen, S., Verburg, P.H., 2013. Land cover change or land-use intensification: simulating land system change with a global-scale land change model. Glob. Change Biol. 19, 3648–3667. doi:10.1111/gcb.12331

Verburg, P.H., de Koning, G.H.J., Kok, K., Veldkamp, A., Bouma, J., 1999. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. Ecol. Model. 116, 45–61. doi:10.1016/S0304-3800(98)00156-2

Verburg, P.H., de Nijs, T., Ritsema van Eck, J., Visser, H., de Jong, K., 2004. A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. Comput. Environ. Urban Syst. 28, 667–690.

Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., Mastura, S.S.A., 2002. Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model. Environ. Manage. 30, 391–405. doi:10.1007/s00267-002-2630-x

Verburg, P.H., Veldkamp, A., 2004. Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales. Landsc. Ecol. 19, 77–98. doi:10.1023/B:LAND.0000018370.57457.58