วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย
Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand
ISSN 1513-4261 ***www.resgat.net***

เป้าหมาย เป็นวารสารกลางเพื่อเผยแพร่งานวิจัย ด้านการสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งการวิจัยพื้นฐานและการประยุกต์ ตลอดจนบทความทางวิชาการความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอวกาศและศาสตร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ขอบเขต รับพิจารณางานวิจัยที่ยังไม่เคยตีพิมพ์มาก่อน ในทุกรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่

- งานวิจัยพื้นฐานด้านการสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์
- การประยุกต์การสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้านการใช้ที่ดิน การเกษตร สิ่งแวดล้อม แผนที่ ทรัพยากรแหล่งน้ำ ทรัพยากรป่าไม้ ทรัพยากรดิน ผังเมือง การวิเคราะห์พื้นที่เชิงระบบและโมเดลเชิงพื้นที่เพื่อการพัฒนา เป็นต้น

เจ้าของและผู้จัดพิมพ์ สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
๑๙๖ ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐ โทรศัพท์ ๐ ๒๙๔๐ ๖๔๒๐
โทรสาร ๐ ๒๗๔๐ ๕๖๗๐ Website: http://www.resgat.net
Email: surachai@gistda.or.th, isariyat@gistda.or.th

ที่ปรึกษา

ดร.สุวิทย์ วิบูลย์เศรษฐ์	อดีต ผส..สทอภ.
นายมนู โอมะคุปต์	AARS-GEO
ดร.แก้ว นวลฉวี	รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ AIT
Prof.Shunji Murai	AARS-GEO

บรรณาธิการ

รศ.ดร.ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กองบรรณาธิการ

ดร.ธงชัย จารุพพัฒน์	สทอภ.
ดร.ดาราศรี ดาวเรือง	สทอภ.
ดร.เชาวลิต ศิลปทอง	สทอภ.
ดร.พงษ์อินทร์ รักอริยะธรรม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.รุจ ศุภวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.สัญญา สราภิรมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.วัชราภรณ์ เชื่อนแก้ว	มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร.สุวิทย์ อ๋องสมหวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พันเอกศุภฤกษ์ ชัยชนะ	กรมแผนที่ทหาร

ผู้จัดการ ดร.สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ สทอภ.

ผู้ช่วยผู้จัดการ นางสาวอิศริยา ทิพยวัฒน์ สทอภ.

สถานที่พิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี่ พับลิชชิ่ง ๕๔๙/๑ ซอยเสนานิคม ๑ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐ โทร. ๐ ๒๕๗๙ ๓๓๕๒, ๐ ๒๕๖๑ ๑๙๓๓

สสสท. ยินดีรับบทความวิชาการ เพื่อพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ ผู้ประสงค์จะนำบทความเผยแพร่ต่อไป ต้องได้รับอนุญาตจากผู้เขียน

คำแนะนำสำหรับผู้แต่งและเตรียมต้นฉบับ

1. วารสารสมาคมยินดีต้อนรับงานวิจัย/บทความทางวิชาการที่ยังไม่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่มาก่อน และเป็นผลงานที่มีคุณค่าทางวิชาการเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษได้
2. การเตรียมต้นฉบับมีส่วนประกอบ ดังนี้
   2.1 ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียนทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
   2.2 ตำแหน่ง(ถ้ามี) คุณวุฒิสูงสุด และสถานที่ทำงานของผู้เขียนทุกคน
   2.3 บทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 1 หน้ากระดาษ
   2.4 ต้นฉบับพิมพ์ด้วย Microsoft word สำหรับพิมพ์ ขนาดเอ 4(A4) พิมพ์หน้าเดียว เว้นระยะ 2 บรรทัด ในแต่ละหน้า มี 2 คอลัมน์ โดยมีความยาวของต้นฉบับไม่เกิน 12 หน้า ผู้ส่งนอกจากจะส่งต้นฉบับแล้วต้องส่ง CD ที่พิมพ์ด้วย Microsoft Word ตัวหนังสือแบบ Angsana ขนาดตัวอักษร 14 หรือ ส่ง Email ที่ surachai@gistda.or.th, charat@kku.ac.th และ gecnet@kku.ac.th
   2.5 คำสำคัญ Keywords ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ อย่างละไม่เกิน 3 คำ
   2.6 คณะบรรณาธิการขอสงวนลิขสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขเรื่องที่ส่งทุกเรื่องตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิเสนอแนะ หากมีการแก้ไขที่ไม่กระทบต่อเนื้อหาหลักทางกองบรรณาธิการจะได้ส่งพิมพ์ต่อไป
   2.7 คณะบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่ตีพิมพ์งานวิจัยที่อาจจะมีผลกระทบต่อส่วนรวม ความมั่นคงของประเทศ หรือ ไม่มีคุณค่าทางวิชาการ ซึ่งอยู่ในดุลยพินิจของกองบรรณาธิการและ/หรือผู้ทรงคุณวุฒิ
   2.8 สมาชิกสมาคมจะได้สิทธิ์ในการตีพิมพ์ก่อนบุคคลที่ไม่ได้เป็นสมาชิก
   2.9 สมาคมฯ ไม่รับผิดชอบในงานวิจัยหรือบทความที่อาจจะเกิดปัญหาในทางกฎหมาย ความเห็นที่อาจจะไม่สอดคล้องกับหน่วยงานอื่น ๆ
3. การเขียนเอกสารอ้างอิง ใช้ระบบ นาม-ปี ท้ายเรื่องซึ่งเริ่มต้นด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน เรียงตามอักษรชื่อแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ ซึ่งเรียงตามตัวอักษรของนามสกุลของผู้แต่งคนแรก เอกสารอ้างอิงต้องปรากฏทั้งในเรื่องและท้ายเรื่องสอดคล้องกัน

<u>ในกรณีที่อ้างหนังสือมีลำดับ ดังนี้</u>

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อหนังสือ.** สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง :

สัญญา สัญญาวิวัฒน์.(2541). **การพัฒนาชุมชนแบบจัดการ**. กรุงเทพฯ: เอมี่เทรดดิ้ง.

Campbell, J. B. (2002). **Introduction to Remote Sensing**. **3rd**. New York: Taylor & Francis.

<u>ในกรณีที่อ้างบทความวารสารมีลำดับ ดังนี้</u>

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. **ชื่อวารสาร**, **ปีที่** (ฉบับที่), เลขหน้า.

ตัวอย่าง :

ปรีชา ช้างขวัญยืน. (2538). การประยุกต์พุทธจริยศาสตร์กับสังคมไทย. **วารสารพุทธศาสตร์ศึกษา,** **2**(3), 5-21.

P.D.Bates, A.P.J. De Roo. (2000) A simple raster-based model for flood inundation simulation. **Journal of Hydrology**, 236 (May), 54-77.

<u>ในกรณีที่อ้างบทความวารสารเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต</u>

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อบทความ.** Retrieved (วัน เดือน ปี), from: URL

ตัวอย่าง :

Chen, P., Liew, S.C, and Lim, H (1999). **Flood Detection Using Multitemporal Radarsat and ERS SAR data**. Retrieved September 13, 2004, from http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ps6/ ps6044.shtml

บทบรรณาธิการ

วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย ฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ปีที่ 10 ประกอบด้วยงานวิจัย 5 เรื่อง และบทความ 2 เรื่อง งานวิจัยทั้ง 5 เรื่องได้ผ่านการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิปรับเปลี่ยนแก้ไขกว่าจะแล้วเสร็จก็ใช้เวลาพอสมควร ส่วนบทความ 2 เรื่องก็เป็นบทความเกี่ยวข้องกับดาวเทียมธีออสและวิธีการสั่งซื้อภาพถ่ายจากดาวเทียม สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทยได้ขอความอนุเคราะห์ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ได้แจกจ่ายให้กับสมาชิกโดยไม่คิดแสวงหาผลกำไรเพียงแต่ดำเนินการตามนโยบายสร้างสรรค์ด้านวิชาการการวิจัยในเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนปรับภารกิจทางวิชาการทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติการเพื่อเสริมฐานที่ทางหน่วยงานราชการอาจจะไม่สะดวกที่จะทำได้ แม้ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งแต่ก็เป็นความหวังที่จะสร้างความสัมพันธ์แลกเปลี่ยนความคิดเห็นอย่างอิสระในบรรดาสมาชิกสมาคม

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

งานวิจัย

หน้า

การประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะไกลช่วงคลื่นความร้อนเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ ๑-๑๐
โดมความร้อนของเมือง กรณีศึกษา: พื้นที่เมืองปทุมธานี

Thermal Remote Sensing Application on Urban Heat Island Case Study: Pathumthani Urban Areas

ปฐมพงศ์ สุขทอง ศิริพรรณ ทวีสุข กนก วีรวงศ์

การประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ต่อการปลูกปาล์มน้ำมันในอำเภออ่าวลึก ๑๑-๒๒
จังหวัดกระบี่ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Assessment of suitable areas for oil palm cultivation in Au Luk District, Krabi Province
using geographic information system

เชาว์ ยงเฉลิมชัย ชาญชัย ธนาวุฒิ สุรชาติ เพชรแก้ว
สุจรรยา (บุญวรรณโณ) พงศ์สวรรค์ ณัลลิกา โตจินดา

การบูรณาการข้อมูลภาพดาวเทียมกับโมเดล 3PGs เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ป่า ๒๓-๓๒

Integration of satellite imagery data with 3PGs model for assessment of forest productivity

จิระ ปรับเขียว ชยกฤต ม้าลำพอง อริศรา เจริญปัญญาเนตร
ศราวุธ พงษ์ลี้รัตน์ พงศ์สาน คำนนท์คอม

แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตาม ๓๓-๕๓
ตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้านชีพลักษณ์ของป่ามรสุมเขตร้อน

An Approach to using vegetation and water indices of multi-temporal satellite data for
drought monitoring through the phonological state of tropical monsoon forest

แคแสด มงคลสวัสดิ์ ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์

ดัชนีตรวจวัดเชิงธรณีสัณฐานเบื้องต้นที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนมีพลังในเขตเขาพนม ๕๔-๖๓
จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Preliminary Geomorphic Indices Associated to Active Faults in Khao Phanom area,
Surat Thani Province

ศรัณย์ แก้วเมืองมูล สุมาลี ทิพโยภาส ปัญญา จารุศิริ

บทความ

ความพร้อมในการปฏิบัติภารกิจถ่ายภาพของดาวเทียมธีออส ๖๔-๖๗

สุวกัลป์ เพียรกรณีย์

การพัฒนาระบบค้นหาและสั่งซื้อภาพถ่ายดาวเทียม ๖๘-๗๙

Map Viewer and Ordering System: MVOS

สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้านชีพลักษณ์ของป่ามรสุมเขตร้อน

AN APPROACH TO USING VEGETATION AND WATER INDICES OF MULTI-TEMPORAL SATELLITE DATA FOR DROUGHT MONITORING THROUGH THE PHENOLOGICAL STATE OF TROPICAL MONSOON FOREST

แคแสด มงคลสวัสดิ์
ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์
ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนา
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Khaesaet Mongkolsawat
Charat Mongkolsawat
Geo-Informatics Center for
Development of Northeast Thailand,
KhonKaen University

บทคัดย่อ

ข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราระบบโมดิสมีความแยกชัดเชิงเวลาสูงจึงมีความเหมาะสมสำหรับการศึกษารูปแบบเชิงพื้นที่และเวลาของสภาวะด้านชีพลักษณ์ของป่าไม้ เป้าหมายของการศึกษานี้คือเพื่อตรวจวัดและหาค่าการเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณ์ของป่ามรสุมเขตร้อนซึ่งเป็นผลมาจากความแห้งแล้ง พื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียวตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยและประกอบด้วยป่าหลากหลายประเภท การตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงโดยเทคนิคผลต่างภาพดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) ดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) และดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (EVI) ใช้ศึกษาสภาวะด้านชีพลักษณ์หรือวงจรการเจริญเติบโตตามฤดูกาลของพืช ดำเนินการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณน้ำฝนกับความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีเหนือพื้นที่ การประเมินความเปลี่ยนแปลงกำหนดโดยช่วงค่าหรือจุดเริ่มของความเปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ย ลำดับขั้นของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของดัชนีผลต่างภาพเป็นตัวกำหนดขนาดของความเปลี่ยนแปลง ผลลัพธ์ที่ได้บ่งบอกว่าความเปลี่ยนแปลงของสภาวะชีพลักษณ์ของพืชพรรณที่ปกคลุมที่แตกต่างกันสามารถชี้ถึงรูปแบบเชิงเวลาและพื้นที่ของความแห้งแล้งได้ แสดงให้เห็นในค่าความแตกต่างของ NDVI(dNDVI)ความแตกต่างของNDWI (dNDWI) และความแตกต่างของEVI (dEVI) ของภาพถ่ายต่างวันที่ครอบคลุมเหนือพื้นที่พืชพรรณหลากหลายประเภท ป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบมีความไวต่อสภาวะแห้งแล้งและแสดงสภาวะชีพลักษณ์คือการทิ้งใบออกมาอย่างเด่นชัด ภาพผลต่าง NDVI และ EVI (dNDVI และ dEVI) บ่งบอกความแตกต่างระหว่างพื้นที่ของพืชพรรณที่ปกคลุม ค่า dNDVI และ dEVI ที่สูงกว่าหมายถึงระดับของความเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่า ค่า dNDWI แสดงความแตกต่างที่เกี่ยวข้องกับการผสมผสานระหว่างพืชพรรณที่ปกคลุมกับปริมาณน้ำในพื้นที่ รูปแบบเชิงพื้นที่และเวลาของความแห้งแล้งสามารถบอกได้จาก dNDWI ประกอบกับ dNDVI และ dEVI แทนที่การใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาหรือในกรณีที่ข้อมูลด้านภูมิอากาศมีไม่เพียงพอหรือไม่ครอบคลุมพื้นที่

ABSTRACT

Modis data of the Terra Satellite with high temporal resolution is promising for spatio-temporal pattern of the phenological state of forest. The objective of this study is to detect and evaluate the changes in phenological state of the tropical monsoon forest as related to drought. The study area, Phukhieo Wildlife Sanctuary, is located in Northeast Thailand and has a diversity of forest types. The changes detection in Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) image differencing technique were used to study vegetation phenology or the seasonal cycle of growth stages. The establishment of relationships between rainfall variables and the changes of the indices over the area was performed. Assessment of changes was determined by thresholds

of the mean indices. The steps of standard deviation from the mean of the image differencing indices were determined the magnitude of changes. The results indicate that the changes in phenological state of different vegetation covers identify the spatio-temporal pattern of drought. These represent each of the dNDVI, dNDWI and dEVI values of multi-date images covering over the diverse vegetation types. The dry dipterocarp and mixed deciduous forest types sensitive to drought exhibits obviously its phenologic state of defoliation. The dNDVI/dEVI images indicate the difference among the areas of various vegetation covers, the higher dNDVI/dEVI values greater degree of variability in vegetation cover. The dNDWI images provide the difference in terms of a combination of vegetation covers and water content. The spatio-temporal pattern of drought can be implied from the dNDWI supplemented by the dNDVI/dEVI instead of using the meteorological data or in case of inadequate full coverage of climatic data.

1. บทนำ

1.1 ปัญหาและผลกระทบที่เกิดจากความแห้งแล้ง

สภาวะความแห้งแล้งที่ปรากฏในหลายพื้นที่สร้างความเสียหายและเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาประเทศ พื้นที่ที่ประสบสภาวะแห้งแล้งจะมีปัญหาขาดแคลนน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคและทำการเกษตร ซึ่งในประเทศไทยการทำการเกษตรอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติเป็นหลัก เมื่อปริมาณน้ำไม่เพียงพอทำให้ผลผลิตจากการเพาะปลูกลดลง เกิดความขาดแคลนสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปส่งผลต่อเศรษฐกิจ และก่อให้เกิดปัญหาด้านอื่นตามมา เช่น ปัญหาด้านสังคมและวัฒนธรรม เนื่องจากเมื่อไม่อาจทำการเกษตรได้ตามปกติก็จะเกิดการละทิ้งถิ่นฐานไปทำงานในเมือง นอกจากนี้สภาพอากาศที่แห้งแล้งมากยังทำให้เกิดปัญหาไฟป่า เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกประการหนึ่งด้วย

1.2 การติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งที่ผ่านมา

การศึกษาปัญหาความแห้งแล้งที่ผ่านมาจะเป็นการศึกษาเพื่อประเมินพื้นที่การเกิดและการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดสภาวะความแห้งแล้ง วิเคราะห์โดยอาศัยข้อมูลภาคสนามอย่างข้อมูลอุตุนิยมวิทยาหรือข้อมูลของสภาพอากาศ ความชื้นในดิน และปริมาณน้ำใช้ที่มักขาดความครอบคลุมทั้งเชิงพื้นที่และเวลา เนื่องจากจำนวนสถานีที่มีน้อยไม่ครอบคลุมพื้นที่ การบันทึกข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องหรือไม่ครบถ้วน มีความล่าช้าในการบริหารข้อมูล ทำให้ไม่สามารถได้รับข้อมูลทันท่วงที รวมถึงลักษณะของเกิดและความเคลื่อนไหวตามธรรมชาติของความแห้งแล้งมีความแตกต่างจากภัยธรรมชาติอื่น คือจะก่อตัวอย่างช้าๆ และเกิดขึ้นโดยที่ไม่อาจรู้ล่วงหน้า หรือกว่าจะรู้ก็เมื่อสถานการณ์ลุกลามแล้ว อีกทั้งผลกระทบของความแห้งแล้งก็ไม่สามารถสังเกตพบในทันทีด้วยตาเปล่าหรือด้วยข้อมูลภาคสนามเพียงอย่างเดียว (Shakya & Yamaguchi, 2007) เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น การอุ้มน้ำของดิน แหล่งน้ำใต้ดิน และการใช้ที่ดินหรือประเภทของสิ่งปกคลุมดิน ฯลฯ ร่วมด้วย ทำให้ยากต่อการเฝ้าติดตาม ทำนายและการวางแผนรับมือหรือเตรียมการแก้ไขปัญหาให้ครอบคลุม ถูกต้องแม่นยำ และทันต่อเหตุการณ์

1.3 การใช้ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลเพื่อตรวจสอบความแห้งแล้ง

ถึงแม้ว่าความแห้งแล้งจะเป็นปรากฏการณ์ที่มีความซับซ้อน แต่ก็สามารถบ่งชี้ได้ด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล (Remotely Sensed Data) ที่ได้รับจากดาวเทียม โดยจะปรากฏเป็นคาบของสภาพอากาศที่แห้งผิดปกติซึ่งจะแสดงออกในรูปของความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับพืชพรรณที่ปกคลุม (Bayarjargal et al., 2006 cited from Heim, 2002; Tucker & Choudhury, 1987) การตรวจวัดขอบเขต การเริ่มต้น และสิ้นสุดของความแห้งแล้ง และการประเมินความรุนแรงโดยใช้ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลจึงได้กลายมาเป็นที่นิยมในการศึกษาเกี่ยวกับภัยธรรมชาติ ภาวะทะเลทรายและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การเฝ้าสังเกตการณ์ทำให้ทราบว่าความถี่และความรุนแรงของความแห้งแล้งได้เพิ่มมากขึ้นในหลายส่วนของโลก (Bayarjargal et al., 2006 cited from Hulme & Kelly 1993; McCarthy et al., 2001)

เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่องทั้งเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ เนื่องจากมีการบันทึกภาพซ้ำเป็นช่วงเวลาทำให้ได้ข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง มีการบันทึกภาพเป็นบริเวณกว้าง ข้อมูลจึงมี

ความครอบคลุมต่อพื้นที่ทั้งหมด และมีรูปแบบเชิงพื้นที่และเวลาของสถานะของพื้นผิว (Gu, Brown, Verdin, & Wardlow, 2007) นอกจากนี้ยังมีข้อมูลหลายช่วงคลื่นซึ่งตอบสนองต่อสิ่งที่บ่งบอกถึงความแห้งแล้ง อันได้แก่ พืชพรรณ ค่าคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณ ปริมาณน้ำในพืชและในดินที่จะสามารถเลือกใช้ให้ตรงกับความต้องการ เพื่อแก้ไขข้อขัดข้องที่เกิดกับข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศได้ คุณสมบัติของข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลที่กล่าวมาล้วนมีความเหมาะสมสำหรับการติดตามตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงและแสดงผลกระทบของความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ได้อย่างชัดเจน ตลอดช่วงที่เกิดความแห้งแล้งปริมาณน้ำในดินจะลดต่ำลงและมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิใบพืชอย่างมีความหมาย (Shakya & Yamaguchi, 2007) รวมถึงความเปลี่ยนแปลงอื่นของสภาวะพืชพรรณซึ่งสามารถใช้เป็นหลักในการบ่งชี้ความแห้งแล้งได้ การตรวจวัดความแห้งแล้งมีการนำวิธีการที่แตกต่างกันหลายวิธีมาใช้วิเคราะห์ โดยเฉพาะการใช้ดัชนีที่แสดงถึงการปรากฏอยู่รวมถึงสภาวะต่างๆ ของพืชพรรณ ดัชนีเหล่านี้มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปสามารถนำมาใช้อธิบายสภาพปัจจุบันของพื้นที่ ลักษณะการกระจายตัวและความเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณได้ดีกว่าตัวแปรด้านภูมิอากาศ (Kogan, 1995) ดัชนีที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อบ่งชี้สภาวะความแห้งแล้งได้แก่ ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอมัลไลซ์ (The Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ดัชนีผลต่างความชื้นแบบนอมัลไลซ์ (The Normalized Difference Water Index: NDWI) และดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (The Enhanced Vegetation Index: EVI) เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์

2.1 ใช้ข้อมูลดาวเทียมตรวจสอบความแห้งแล้งโดยอาศัยลักษณะทางชีพลักษณ์ของพืชที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการขาดน้ำซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการสะท้อนที่ปรากฏในภาพถ่ายจากดาวเทียม

2.2 เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาพื้นที่การเกิดและระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งได้ทันต่อเหตุการณ์ ในกรณีที่มีข้อมูลอุตุนิยมวิทยาไม่ครบถ้วนหรือได้ข้อมูลล่าช้า

3. วรรณกรรมวิจัย

3.1 นิยามของความแห้งแล้ง

คณะกรรมการอุตุนิยมวิทยานานาชาติ (The International Meteorological Community) อธิบายถึงความหมายทั่วไปของความแห้งแล้งว่าเป็น “การขาดแคลนหรือทิ้งช่วงเป็นเวลานานของน้ำฟ้า (Precipitation)” “การขาดแคลนน้ำฟ้าซึ่งส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำสำหรับบางพื้นที่หรือบางกิจกรรม” หรือ “ช่วงเวลาของสภาวะอากาศที่แห้งผิดปกติที่ยาวนานพอที่จะทำให้เกิดการขาดน้ำฟ้าเป็นเหตุให้เกิดความไม่สมดุลของปริมาณน้ำในระบบอุทกศาสตร์” (Heim, 2002 cited from องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก[World Meteorological Organization: WMO], 1992; สมาคมอุตุนิยมวิทยาอเมริกัน[American Meteorological Society], 1997) ด้วยเหตุที่ความแห้งแล้งก่อให้เกิดผลกระทบต่อหลายภาคส่วนอย่างกว้างขวางและมีการกระจายตัวทั้งในเชิงเวลาและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่หลากหลาย รวมกับความต้องการทรัพยากรน้ำในระบบการใช้งานที่แตกต่างกันของมนุษย์ ทำให้เป็นการยากที่จะพัฒนาคำจำกัดความเดี่ยวของความแห้งแล้งออกมาได้ (Heim, 2002)

3.2 ประเภทของความแห้งแล้ง

สมาคมอุตุนิยมวิทยาอเมริกัน (1997) จัดกลุ่มประเภทและคำนิยามความแห้งแล้งออกเป็น 4 หมวด (Categories) คือ ความแห้งแล้งในทางอุตุนิยมวิทยาหรือภูมิอากาศ (Meteorological or Climatological Drought) (เงื่อนไขสภาวะอากาศส่งผลต่อการขาดแคลนหรือลดลงของปริมาณน้ำฟ้า) ความแห้งแล้งในทางการเกษตร (Agriculural Drought) ความแห้งแล้งในทางอุทกศาสตร์ (Hydrological Drought) และความแห้งแล้งในทางเศรษฐกิจและสังคม (Socioeconomic Drought)

การขยายเวลา (เพิ่มจำนวนเดือนและความต่อเนื่องของปี) ของความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยาสามารถพัฒนาอย่างรวดเร็วและจบลงอย่างฉับพลัน การขาดความชื้นระยะสั้นในชั้นผิวดินเขตที่รากพืชหยั่งในถึงระหว่างฤดูการเจริญเติบโต (Critical Time) เป็นที่มาของความแห้งแล้งเชิงการเกษตรซึ่งส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลงอย่างมาก แม้ว่าในชั้นดินลึกลงไปจะยังอิ่มตัวด้วยความชื้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่ร้อนจัดความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และมีลมพัดจัดมักจะผสานเข้ากับผลกระทบจากการขาดแคลนฝน (Heim, 2002 cited from Condra, 1944) การเริ่มต้นของความแห้งแล้งในเชิงการเกษตรมักเกิดตามหลังความแห้งแล้งในเชิง

อุตุนิยมวิทยา ขึ้นอยู่กับสถานะของความชื้นในชั้นผิวดินเป็นปัจจัยหลัก การขาดแคลนน้ำฟ้าในช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้นส่งผลต่อน้ำผิวดินและถัดลงไป ทำให้น้ำในทางน้ำไหล น้ำใต้ดิน ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ และในทะเลสาบลดลง เกิดเป็นความแห้งแล้งในเชิงอุทกศาสตร์ซึ่งจะคงอยู่อีกนานหลังจากความแห้งแล้งในเชิงอุตุนิยมวิทยาจบลง ส่วนความแห้งแล้งในเชิงเศรษฐกิจและสังคมเป็นผลของความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา การเกษตร และอุทกศาสตร์รวมเข้ากับอุปสงค์และอุปทานของสินค้าเศรษฐกิจบางประการ (Heim, 2002)

3.3 นิยามของชีพลักษณ์

ชีพลักษณ์ (Phenological)หมายถึง ลักษณะหรือกระบวนการของพืชที่แสดงออกสัมพันธ์กับสภาวะแวดล้อมเป็นช่วงเวลาหรือสัมพันธ์กับฤดูกาลในรอบปี เช่น การไม่ผลัดใบ (Evergreen) การมีใบเขียวในช่วงฤดูฝนหรือผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง (Rainy Green or Dry Deciduous) การแตกใบเขียวในช่วงฤดูร้อน (Summer Green) และผลัดใบในฤดูหนาว (Winter Deciduous) การศึกษาในขั้นรายละเอียดของแต่ละสังคมและแต่ละชนิดพืชอาจเน้นลงไปถึงการออกดอก การออกผล การโปรยเมล็ด (ผลสุกและร่วงหล่น) การตอบสนองต่อฤดูกาลนี้พบเห็นได้ทั่วทุกเขตของโลกไม่ว่าในสังคมพืชเขตร้อน อบอุ่น หนาว หรือแห้งแล้ง (ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้, 2551)

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชีพลักษณ์ของพืชกับความแห้งแล้งและข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล

ชีพลักษณ์หรือลักษณะการแสดงออกของพืชที่สัมพันธ์กับฤดูกาลอย่างการผลัดใบของพืชบางชนิดสามารถใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงสภาวะอากาศได้ตามหลักการพื้นฐานที่ว่า การทิ้งใบของพืชเป็นการตอบสนองต่อปริมาณน้ำที่พืชจะสามารถนำมาใช้ได้ เมื่อพืชอยู่ในสภาวะความเครียด (Stress) เนื่องจากการขาดน้ำในช่วงที่สภาวะอากาศแห้งแล้ง พืชจะต้องทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำและเก็บอาหารไว้เลี้ยงส่วนลำต้นเพื่อรอให้สภาพอากาศเหมาะสมจึงแตกใบใหม่อีกครั้ง ในภาพถ่ายจากดาวเทียมลักษณะที่พืชแสดงออกนี้จะปรากฏเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้สามารถจำแนกลักษณะที่แตกต่างกันในฤดูที่มีน้ำและฤดูที่ขาดแคลนน้ำได้ รวมถึงในพื้นที่ป่าหรือสิ่งปกคลุมดินต่างชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณ์ของพืชก็จะแตกต่างกัน ปกติพื้นที่ป่าเต็งรังจะมีเรือนยอดเปิด ต้นไม้ขึ้นกระจายห่างๆ และมีหญ้าปกคลุมในช่องว่างเป็นบริเวณกว้าง เมื่อถึงฤดูแล้งหญ้าที่ปกคลุมพื้นจะแห้งตาย ไม้ยืนต้นทิ้งใบ สิ่งที่ปรากฏในภาพถ่ายจากดาวเทียมจึงเป็นดินที่อยู่เบื้องหลังแทนที่จะเป็นการสะท้อนจากเรือนยอดพืช ทำให้ค่าการสะท้อนของคลื่นในพื้นที่ป่าเต็งรังในฤดูฝนและฤดูแล้งมีความแตกต่างกันอย่างมีความหมาย ส่วนพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบอย่างป่าดิบเขาหรือป่าดิบแล้งจะมีต้นไม้ขึ้นอยู่หนาแน่นและมีเรือนยอดหลายชั้นทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลด์สูงในฤดูฝน เมื่อถึงฤดูแล้งปริมาณคลอโรฟิลด์จะลดต่ำลงส่งผลต่อค่าการสะท้อนที่แตกต่างจากช่วงฤดูฝนเช่นกัน

3.5 การใช้ดัชนีจากดาวเทียมในการตรวจสอบความแห้งแล้ง

แม้ความเปลี่ยนแปลงของพืชในพื้นที่แห้งแล้งจะปรากฏเป็นค่าการสะท้อนที่แตกต่างกันที่เห็นได้ในภาพถ่ายจากดาวเทียม แต่ในการศึกษายังอาจต้องมีการปรับเน้นข้อมูลเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน หรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลให้แสดงความชัดเจนในสิ่งที่ทำการศึกษามากขึ้น เรียกการปรับเน้นข้อมูลลักษณะนี้ว่าดัชนี (Index) (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2540) เนื่องจากความแห้งแล้งเป็นปรากฏการณ์ที่มีความซับซ้อน จึงเป็นไปได้ยากที่จะใช้ดัชนีใดเพียงดัชนีเดียวให้สามารถครอบคลุมการศึกษาได้ทั้งปริมาณ ความหนาแน่น และความรุนแรง รวมถึงความเป็นไปได้ของผลกระทบที่มีต่อกลุ่มต่างๆ ได้เพียงพอ (Heim, 2002) การศึกษาความแห้งแล้งโดยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลที่ผ่านมา จึงได้มีการนำดัชนีเชิงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับสภาพกายภาพของพืชพรรณ ปริมาณน้ำในพืช และปริมาณน้ำในดินมาใช้เพื่อตรวจสอบและศึกษาความแห้งแล้งอยู่หลายดัชนีด้วยกัน

Gao (1996) เสนอดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) เพื่อตรวจวัดความชื้นในพืชพรรณด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลโดยใช้สมการ $(\rho 0.86 - \rho 1.24)/(\rho 0.86 + \rho 1.24)$ ซึ่งช่วงคลื่น 0.86 ถึง 1.24 ไมโครเมตร มีผลกระทบจากการกระจัดกระจายเนื่องจากละอองลอยในชั้นบรรยากาศต่ำ ทำให้ NDWI ไวต่อละอองลอยในชั้นบรรยากาศน้อยกว่า NDVI ผลลัพธ์พบว่า NDWI ไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในเรือนยอดพืช

Lawrence and Ripple (1998) ศึกษาเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices:VIs) หลายดัชนีกับการถดถอยของคลื่นในภูมิประเทศที่มีความแตกต่างและถูกรบกวนสูง เพื่อการทำนายความเปลี่ยนแปลงทางนิเวศวิทยาจากเปอร์เซ็นต์การปกคลุมของพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index: LAI)

Huete et al. (2002) ศึกษาคุณสมบัติทั้งด้านคลื่นและลักษณะทางกายภาพของพืชในดัชนีพืชพรรณ (VIs) สองดัชนี คือ NDVI และ EVI ที่ได้จากดาวเทียม Terra ระบบ MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) ที่ความแยกชัด 500 และ 1000 เมตร เปรียบเทียบกับดัชนีที่ได้จากดาวเทียม NOAA-AVHRR (The Advanced Very High Resolution Radiometer) ที่ความแยกชัด 1000 เมตร พบว่าดัชนีที่ได้จาก MODIS มีความแม่นยำสูงกว่า และพบว่า NDVI มีความอิ่มตัวที่ไม่สิ้นสุด (Asymptotically Saturate) ในพื้นที่ที่มีชีวมวลสูง ขณะที่ EVI ไวต่อความแตกต่างของชั้นเรือนยอด

Chen, Huang, and Jackson (2005) ศึกษาการประเมินปริมาณน้ำในพืช (ข้าวโพดและถั่วเหลือง) โดยใช้ช่วงคลื่น NIR และ SWIR จากดาวเทียม Terra-MODIS โดยใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นที่เป็นไปได้ 7 ช่วงคลื่น สำหรับการสร้างดัชนีพืชพรรณ (VIs) จาก MODIS Band 1-7 (ค่าการสะท้อนที่ 0.648, 0.858, 0.470, 0.555, 1.24, 1.64 และ 2.13 ไมโครเมตร ตามลำดับ) และประเมินแต่ละดัชนีโดยคำนวณความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในพืช (Vegetation Water Content: VWC) พบว่าดัชนี NDVI และดัชนี NDWI เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด

Volcani et al. (2005) ศึกษาการประเมินความแห้งแล้งโดยการวิเคราะห์สถานะทางกายภาพของพืชที่มีผลมาจากสภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ป่าสนชายขอบทะเลทรายในประเทศอิสราเอลโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI ตรวจวัดสภาวะความเครียดของพืช และประยุกต์การตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาลและระหว่างปีในพืชพรรณด้วยเทคนิคผลต่างภาพ (Image Differencing Technique) สำหรับดัชนี NDVI จากการศึกษาพบความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมการสังเคราะห์แสงกับพลวัตรของค่า NDVI ตลอดฤดูกาลเจริญเติบโต

Gu et al. (2007) ทำการประเมินความแห้งแล้งของทุ่งหญ้าใน Central Great Plains ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลห้าปีของ NDVI และ NDWI ที่ได้จากข้อมูลจากดาวเทียมระบบ MODIS ได้ผลลัพธ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI, NDWI และสภาวะความแห้งแล้ง และได้เสนอดัชนี NDDI (Normalized Different Drought Index) ที่พบว่ามีการตอบสนองต่อความแห้งแล้งในฤดูร้อนได้ดีกว่าค่าความแตกต่างทั่วไประหว่าง NDVI กับ NDWI และยังเป็นตัวชี้วัดความแห้งแล้งในทุ่งหญ้าได้ดีกว่าดัชนี NDVI เพียงอย่างเดียว

Cheng, Ustin, Riaño, and Vanderbilt (2008) ศึกษาการประเมินปริมาณน้ำในพืชโดยใช้ภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นและดัชนีที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบ MODIS ประกอบด้วยดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) ดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (EVI) และดัชนีผลต่างอินฟราเรด (The Normalized Difference Infrared Index: NDII) ในพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐแอริโซนา เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากข้อมูลปริมาณน้ำในใบพืช (Leaf Water Content) และดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

ณกร วัฒนกิจ (2551) ทำการศึกษาการตรวจวัดความแห้งแล้งในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลดัชนีพืชพรรณ NDVI จากข้อมูลภาพถ่ายหลายช่วงเวลาจากดาวเทียม Terra-MODIS เพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและการวิเคราะห์ความแห้งแล้งด้วยดัชนี Standardized Precipitation Index (SPI) และดัชนี Standardized Vegetation Index (SVI)

ดัชนีเชิงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับสภาพกายภาพของพืชพรรณ ปริมาณน้ำในพืชและปริมาณน้ำในดินซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงสภาพความแห้งแล้งที่ได้มีการนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความแห้งแล้งในช่วงเวลาที่ผ่านมาแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ดัชนีเชิงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับสภาพกายภาพของพืชพรรณและความแห้งแล้งที่ได้มีการนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความแห้งแล้งในช่วงเวลาที่ผ่านมา

Drought Indices	Formula	Source and reference
(1) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho RED}{\rho NIR + \rho RED}$	Lawrence&Ripple, 1998 Bayarjargal et al., 2006 Chen et al., 2005 Volcani et al., 2005 Gu et al., 2007 Shakya&Yamaguchi, 2007 Cheng et al., 2008
(2) Normalized Difference Water Index (NDWI)	$NDWI = \frac{\rho NIR - \rho SWIR}{\rho NIR + \rho SWIR}$	Gao, 1996 Maki et al., 2004 Chen et al., 2005 Gu et al., 2007 Cheng et al., 2008
(3) Enhanced Vegetation Index (EVI)	$EVI = \frac{2.5 \times (\rho NIR - \rho Red)}{(\rho NIR + 6\rho Red - 7.5\rho Blue + 1)}$	Huete et al., 2002 Waring et al., 2006 Wardlow et al., 2007 Houborg et al., 2007 Cheng et al., 2008
(4) The difference of index (dINDEX) The difference of NDVI	$dINDEX = INDEX_{(t1)} - INDEX_{(t2)} + C$; เมื่อ C คือค่าคงที่ t1, t2 คือวันที่ 1,2 ตามลำดับ $dNDVI = NDVI_2 - NDVI_1$	Volcani et al., 2005
(5) Simple Ratio (SR) Modified SR	$SR = Band\ 4/Band\ 3 = \rho NIR/\rho Red$ $mSR = \frac{\rho NIR - \rho 445}{\rho Red - \rho 445}$	Lawrence&Ripple, 1998 Sims&Gamon, 2002
(6) The Normalized Difference Index (NDindex) The Modified of Normalized Difference Index (mNDindex)	$NDindex = \frac{\rho ref - \rho index}{\rho ref + \rho index}$ $mNDindex = \frac{\rho ref - \rho index}{\rho ref + \rho index - 2\rho 445}$	Sims&Gamon, 2002
(7) Normalized Difference Drought Index (NDDI)	$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI}$	Gu et al., 2007
(8) Normalized Difference Infrared Index (NDII)	$NDII = \frac{Band\ 2 - Band\ 6}{Band\ 2 + Band\ 6}$	Cheng et al., 2008
(9) Vegetation Condition Index (VCI)	$VCI = \frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin}$	Kogan, 2000 Bayarjargal et al., 2006
(10) Temperature Condition Index (TCI)	$TCI = \frac{BTmax - BT}{BTmax - BTmin}$; BT คือ Brightness Temperature	Kogan, 2000 Bayarjargal et al., 2006
(11) Vegetation and Temperature Index (VTI)	VTI = a(VCI) + b(TCI) ; a และ b คือค่าสัมประสิทธิ์ในการรวม	Kogan, 2000

ตารางที่ 1 (ต่อ) ดัชนีเชิงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับสภาพกายภาพของพืชพรรณและความแห้งแล้งที่ได้มีการนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความแห้งแล้งในช่วงเวลาที่ผ่านมา

Drought Indices	Formula	Source and reference
(12) Vegetation Health Index (VHI)	VHI = 0.5VCI + 0.5TCI	Bayarjargal et al., 2006
(13) Land Surface Temperature (LST)	LST = T_4 + 2.63(T_4 – T_5) + 1.27 ; T_4, T_5 คือ Brightness Temperature จาก AVHRR ch.4,5 ตามลำดับ	Bayarjargal et al., 2006 Shakya&Yamaguchi, 2007
(14) Vegetation Temperature Condition Index (VTCI) Vegetation Water Temperature Condition Index (VWTCI)	VTCI = $\frac{LSTmax - LST(NDVI)}{LSTmax - LSTmin}$ VWTCI = $\frac{LSTmax - LST(VDI)}{LSTmax - LSTmin}$	Shakya&Yamaguchi, 2007
(15) Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)	SAVI = $\frac{1.5 \times (\rho NIR - \rho Red)}{(\rho NIR + \rho Red + 0.5)}$	Huete et al., 1997 Lawrence&Ripple, 1998
(16) Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI)	MSAVI=[2ρNIR+1–[(2ρNIR)^2-8(ρNIR-ρRed)]$^{1/2}$]/2	Lawrence&Ripple, 1998
(17) Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI)	OSAVI = $\frac{1.16 \times (\rho NIR - \rho Red)}{(\rho NIR + \rho Red + 0.16)}$	Lawrence&Ripple, 1998
(18) Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index (TSAVI)	TSAVI = $\frac{a(\rho NIR - (a\rho Red) - 6)}{\rho Red + a(\rho NIR - b) + 0.08(1+a)^2}$; a คือ Slope ของ Soil Line, b คือ Intersept ของ Soil Line	Lawrence&Ripple, 1998
(19) Perpendicular Drought Index (PDI) Modified Perpendicular Drought Index (MPDI)	PDI = 1/(M^2+1)$^{1/2}$(ρRed + M ρNIR) ; M คือ Slope ของ Soil Line MPDI = 1/(1 - f_v) (PDI - f_v PDI_v) ; f_v คือ Fraction of Vegetation จากสมการ f_v=1–(NDVI$_{max}$–NDVI/NDVI$_{max}$-NDVI$_{min}$)$^{0.6175}$	Ghulam et al., 2007

4. วิธีการศึกษา

4.1 ขอบเขตและหลักการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการศึกษาโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Terra-MODIS เพื่อวิเคราะห์ความแห้งแล้ง โดยอาศัยพื้นฐานจากสภาวะด้านชีพลักษณ์ (Phenological) ของพืชที่จะมีการเปลี่ยนแปลงตอบสนองต่อการขาดแคลนน้ำ เช่น มีการทิ้งใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง เป็นต้น ลักษณะที่พืชแสดงออกนี้จะปรากฏในภาพถ่ายเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป มีความแตกต่างกันในเดือนที่มีน้ำและเดือนที่ขาดน้ำ รวมถึงในพื้นที่ของป่าต่างชนิดและภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ในพื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว พื้นที่สิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขาและป่าเต็งรัง โดยป่าดิบเขาและป่าดิบแล้งจะอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำดินมีการเก็บกักน้ำได้ดี ส่วนป่าเต็งรังอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ชั้นดินตื้นเก็บกักน้ำไม่ดี พืชพรรณที่ขึ้นในพื้นที่นี้จึงเป็นไม้ผลัดใบที่จะมีการทิ้งใบในฤดูแล้งเพื่อลดการคายน้ำ เริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคมเป็นต้นมา และจะเริ่มผลิใบใหม่ในราวปลายเดือนมีนาคมขึ้นอยู่กับการเริ่มต้นของฤดูฝน

ดัชนีเชิงคลื่นที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับสภาพกายภาพหรือสภาวะด้านชีพลักษณ์ของพืชพรรณ ปริมาณน้ำในพืชและปริมาณน้ำในดิน ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี NDWI และดัชนี EVI ทำการประยุกต์การตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของพืชด้วยเทคนิคผลต่างภาพ (Images

Differencing Technique) เพื่อเข้าถึงความเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาลและระหว่างปีในพืชพรรณ ศึกษาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนและข้อมูลจากการสำรวจชีพลักษณ์ของพืชในภาคสนามเพื่อจัดทำเป็นแผนที่แสดงสภาวะความแห้งแล้ง

4.2 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา “เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว” ตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ภาพที่ 1) ระหว่างละติจูดที่ 16 องศา 5 ลิปดา ถึง 16 องศา 35 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 101 องศา 20 ลิปดา ถึง 101 องศา 55 ลิปดาตะวันออก ทำแนวฉนวนออกจากแนวเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่รวม 1,986.8 ตารางกิโลเมตร มีความสูง 500 ถึง 1,300 เมตรจากระดับน้ำทะเลกลาง ภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (Tropical Savannah Climate-Aw) มีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,180 มม. มีฝนตกชุกตั้งแต่เดือนเมษายนไปจนถึงพฤศจิกายนของทุกปี แต่อาจมีทิ้งช่วงบ้างในเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคมและตกหนักมากในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม

4.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

4.3.1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจากสถานีตรวจวัดในบริเวณพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียวและพื้นที่ใกล้เคียงรวมทั้งสิ้น 10 สถานี รวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544–2549

4.3.2 ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลที่นำมาใช้ศึกษาเป็นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส (Terra/MODIS) ความแยกชัด 250 เมตร ครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ.2544–2549 ใช้ข้อมูลราย 16 วันสองภาพมาทำการเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าข้อมูลรายเดือน

4.4 การวิเคราะห์ดัชนี NDVI ดัชนี NDWI และดัชนี EVI

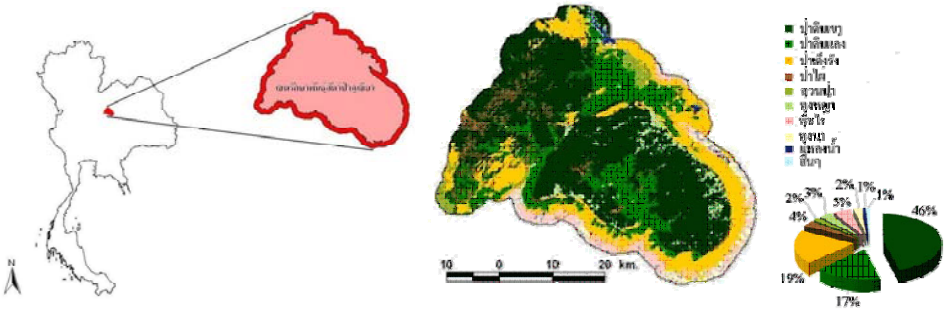
การวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมเพื่อตรวจสอบความแห้งแล้งจะอาศัยพื้นฐานจากลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชที่จะมีการเปลี่ยนแปลงตอบสนองต่อการขาดแคลนน้ำ เช่น มีการทิ้งใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง ฯลฯ ปรากฏในภาพถ่ายเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป แตกต่างกันในเดือนที่มีน้ำ เดือนที่ขาดน้ำ พื้นที่ของป่าต่างชนิดและภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ฯลฯ ดัชนีเชิงคลื่นที่นำมาใช้วิเคราะห์ในครั้งนี้เป็นดัชนีที่ตอบสนองต่อคลอโรฟิลล์ในใบพืช ปริมาณน้ำในพืชและในดิน ได้แก่ ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) ดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) และดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (EVI) ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลรายเดือนของภาพถ่ายจากดาวเทียม MODIS ด้วยสมการ

$$NDVI = (\rho NIR - \rho Red)/(\rho NIR + \rho Red)$$

$$NDWI = (\rho NIR - \rho SWIR)/(\rho NIR + \rho SWIR)$$

$$EVI = 2.5(\rho NIR - \rho RED)/(\rho NIR + 6\rho Red - 7.5\rho Blue + 1) \quad (3)$$

โดยที่ ρBlue, ρRed, ρNIR และ ρSWIR คือ ค่า Digital Number ของการสะท้อนที่ช่วงคลื่น 0.469, 0.645, 0.857 และ 1.65 ไมโครเมตร ตามลำดับ ได้ภาพดัชนี NDVI ภาพดัชนี NDWI และภาพดัชนี EVI ในหลายช่วงเวลาเพื่อดูรูปแบบเชิงพื้นที่และเวลาของความแห้งแล้งในพื้นที่ศึกษาสถานะของพื้นผิวและพืชพรรณตามฤดูกาลที่ตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝนและความสัมพันธ์ต่อค่า NDVI, NDWI และ EVI



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาและลักษณะสิ่งปกคลุมดินในเขตพื้นที่ศึกษา

4.5 การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงในพืชพรรณระหว่างฤดูกาลและระหว่างปี

การวิเคราะห์เพื่อประเมินความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่โดยอาศัยพื้นฐานจากความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีระหว่างคู่ภาพต่างวัน ประยุกต์จากวิธีการของ Volcani et al. (2005) ซึ่งทำการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่จากผลต่างภาพ NDVI ตามสมการ

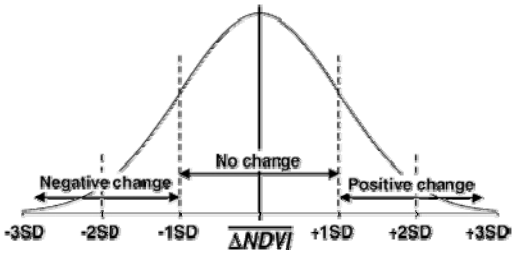
$$dNDVI = NDVI_1 - NDVI_2 \quad (4)$$

และเพิ่มการวิเคราะห์เพื่อประเมินความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่จากเทคนิคผลต่างภาพสำหรับภาพ NDWI และ EVI ด้วยหลักการเดียวกัน

$$dNDWI = NDWI_1 - NDWI_2 \quad (5)$$

$$dEVI = EVI_1 - EVI_2 \quad (6)$$

โดยที่ $NDVI_1$ คือภาพ NDVI ที่ถ่ายในวันที่ 1 $NDVI_2$ คือภาพ NDVI ที่ถ่ายในวันที่ 2 $NDWI_1$ คือภาพ NDWI ที่ถ่ายในวันที่ 1 $NDWI_2$ คือภาพ NDWI ที่ถ่ายในวันที่ 2 EVI_1 คือภาพ EVI ที่ถ่ายในวันที่ 1 และ EVI_2 คือภาพ EVI ที่ถ่ายในวันที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพผลต่าง NDVI (dNDVI Images) ภาพผลต่าง NDWI (dNDWI Images) และภาพผลต่าง EVI (dEVI Images) ทำการวิเคราะห์ระดับของความเปลี่ยนแปลงโดยการกำหนด Thresholds ซึ่งมีค่าเท่ากับหนึ่งช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation Steps: SD Steps) ออกจากค่าเฉลี่ยของผลต่าง โดยช่วง -1SD ถึง +1SD แสดงลักษณะ “ไม่มีการเปลี่ยนแปลง” และลำดับขั้นถัดจากนั้นจะบอกขนาดของความเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นทั้งทางบวกและทางลบต่อไป (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 Histogram แสดงการจัดระดับความเปลี่ยนแปลงโดยกำหนด Threshold ออกจากค่าเฉลี่ย (ดัดแปลงจาก Volcani et al., 2005)

ตารางที่ 2 แสดงคู่ภาพต่างวันที่ใช้วิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่จากความเปลี่ยนแปลงของค่าการสะท้อนในภาพถ่ายอันเนื่องมาจากสภาพชีพลักษณ์ที่ตอบสนองต่อสภาวะอากาศหรือเทคนิคผลต่างภาพ ระหว่าง 1) สองเดือนติดกันในช่วงฤดูแล้งของปีเดียวกัน 2) เดือนเดียวกันในช่วงฤดูแล้งปีติดกัน 3) เดือนเดียวกันในช่วงฤดูฝนปีติดกัน 4) เดือนฤดูฝนกับเดือนฤดูแล้งซึ่งอยู่ต่อเนื่องกัน (ปีอุทกศาสตร์เดียวกัน)

ตารางที่ 2 คู่ภาพต่างวันที่ทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลง

คู่ภาพที่ใช้ศึกษาความเปลี่ยนแปลง		คำอธิบาย
ภาพจากวันที่ 1 (Image 1)	ภาพจากวันที่ 2 (Image 2)	
มกราคม 2544	กุมภาพันธ์ 2544	ฤดูเดียวกัน (แล้ง) ปีเดียวกัน
มกราคม 2545	กุมภาพันธ์ 2545	
มกราคม 2546	กุมภาพันธ์ 2546	
มกราคม 2547	กุมภาพันธ์ 2547	
มกราคม 2548	กุมภาพันธ์ 2548	
มกราคม 2549	กุมภาพันธ์ 2549	
กุมภาพันธ์ 2544	กุมภาพันธ์ 2545	เดือนเดียวกัน แต่ต่างปี (ฤดูแล้ง)
กุมภาพันธ์ 2545	กุมภาพันธ์ 2546	
กุมภาพันธ์ 2546	กุมภาพันธ์ 2547	
กุมภาพันธ์ 2547	กุมภาพันธ์ 2548	
กุมภาพันธ์ 2548	กุมภาพันธ์ 2549	
ตุลาคม 2544	ตุลาคม 2545	เดือนเดียวกัน แต่ต่างปี (ฤดูฝน)
ตุลาคม 2545	ตุลาคม 2546	
ตุลาคม 2546	ตุลาคม 2547	
ตุลาคม 2547	ตุลาคม 2548	
ตุลาคม 2549	ตุลาคม 2549	
ตุลาคม 2544	มกราคม 2545	ต่างฤดูในปี(อุทกศาสตร์)เดียวกัน (ฤดูฝน - ฤดูแล้ง)
ตุลาคม 2545	มกราคม 2546	
ตุลาคม 2546	มกราคม 2547	
ตุลาคม 2547	มกราคม 2548	
ตุลาคม 2548	มกราคม 2549	

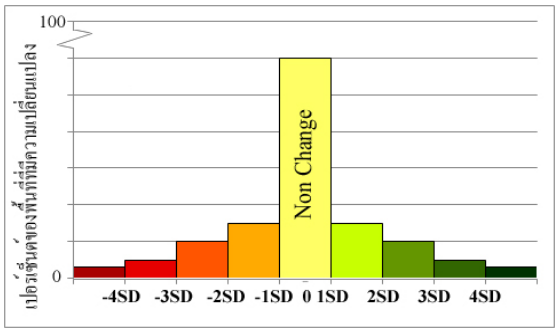
4.6 การวิเคราะห์เชิงสถิติ

ทำการสุ่มเลือกประเภทของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนเชิงเวลาของค่า NDVI ค่า NDWI และค่า EVI ที่มีความสัมพันธ์ต่อประเภทของสิ่งปกคลุมดินหลัก รวมถึงการทดสอบทางสถิติของค่าความแตกต่างระหว่างค่า NDVI ต่อค่า NDWI และ EVI ตามประเภทสิ่งปกคลุมดินหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation: C.V.) คำตอบที่ได้ตามประเภทของสิ่งปกคลุม

ดินได้ถูกนำมาเป็นตัวอย่างเพื่อสร้างผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้ของการทดสอบ

4.7 การทำแผนที่แสดงสถานะความแห้งแล้งจากการวิเคราะห์

การกำหนดระดับความแห้งแล้งที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพผลต่าง NDVI ภาพผลต่าง NDWI และภาพผลต่าง EVI ทำโดยกำหนดให้เป็นศูนย์เมื่อไม่มีความเปลี่ยนแปลง (-1SD ถึง +1SD) ขนาดของความเปลี่ยนแปลงถัดจากนั้นจะได้มาจากลำดับขั้นของช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ลำดับขั้นที่มากกว่าแสดงถึงค่าความแตกต่างที่สูงกว่าไปในทางบวกและทางลบ จัดทำเป็นแผนที่แสดงระดับของความเปลี่ยนแปลงโดยแสดงลำดับของสีที่แตกต่างร่วมกับกราฟ Histograms ของความเปลี่ยนแปลง เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความเปลี่ยนแปลงถูกแสดงด้วยกราฟตามลำดับขั้นของช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรืออีกนัยหนึ่งคือลำดับขั้นของความเปลี่ยนแปลงที่วิเคราะห์ได้ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ระดับของความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ตามลำดับขั้นของช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงเป็นลำดับของสี

4.8 การสำรวจภาคสนาม

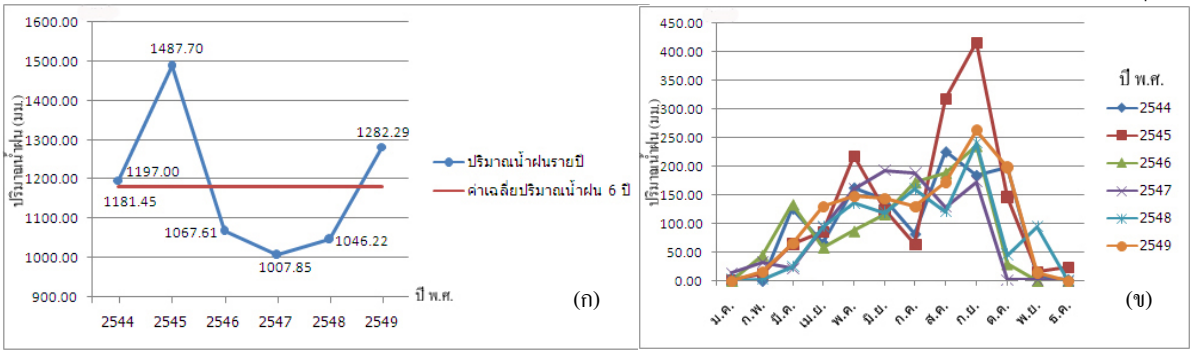
การศึกษาครั้งนี้ทำการตรวจสอบความแห้งแล้งโดยอาศัยพื้นฐานจากสภาวะสรีรวิทยาหรือชีพลักษณ์ของพืชที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลตอบสนองต่อการขาดน้ำและแสดงผลเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไปในภาพถ่ายจากดาวเทียม จึงต้องมีการสำรวจภาคสนามตรวจสอบสภาพภูมิประเทศ ประเภทของป่า ชนิดของพืชและลักษณะของพันธุ์พืชที่ปกคลุมในพื้นที่ เพื่อนำมาเปรียบเทียบประกอบการพิจารณาและหาความสัมพันธ์กับภาพดัชนี NDVI ภาพดัชนี NDWI ภาพดัชนี EVI และแผนที่ระดับความเปลี่ยนแปลงของความแห้งแล้งที่ได้

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การตรวจสอบความแห้งแล้งด้วยข้อมูลจากดาวเทียมจะมีความสัมพันธ์กับชีพลักษณ์หรือลักษณะของพืชพรรณที่ตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝน เนื่องจากสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่า ทั้งป่าไม่ผลัดใบ ได้แก่ ป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง และป่าผลัดใบ ได้แก่ ป่าเต็งรัง โดยที่ป่าเต็งรังซึ่งเป็นป่าผลัดใบประเภทหนึ่งจะมีการทิ้งใบเมื่อขาดน้ำ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการสะท้อนที่ปรากฏในภาพถ่ายจากดาวเทียม การศึกษาความแห้งแล้งจากการเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณ์ของพืชจึงต้องมีการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนตามฤดูกาลของค่าการสะท้อนกับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่

5.1 การแปรปรวนตามฤดูกาลของค่า NDVI ค่า NDWI และค่า EVI

การแปรปรวนตามฤดูกาลของค่าดัชนี NDVI ดัชนี NDWI และดัชนี EVI มีผลมาจากสภาพของพืชพรรณ ได้แก่ ความสมบูรณ์ของพืช ค่าชีวมวล ปริมาณคลอโรฟิลด์ ฯลฯ รวมถึงปริมาณความชื้นในพืชและในดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน ในช่วงฤดูฝนพืชพรรณได้รับน้ำมากจะมีการเจริญเติบโตดี มีความสมบูรณ์ ปริมาณคลอโรฟิลด์ในใบพืชมีสูง ค่า NDVI NDWI และ EVI ที่ปรากฏในภาพถ่ายจึงมีค่าสูง ขณะที่ในช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำฝนที่ลดลงทำให้พืชแสดงออกถึงการขาดแคลนน้ำ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ภูมิประเทศมีความลาดชัน ชั้นดินตื้นและกักเก็บน้ำได้ไม่ดี สิ่งปกคลุมดินในบริเวณนี้จะเป็นป่าเต็งรังซึ่งเป็นป่าผลัดใบประเภทหนึ่งที่มีการทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำ ทำให้ภาพถ่ายในช่วงฤดูดังกล่าวเป็นค่าการสะท้อนของดินที่อยู่เบื้องหลัง (Soil Background) ภาพที่ 4(ก) แสดงปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยจากสถานีน้ำฝน 10 สถานีในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียวตั้งแต่ปี พ.ศ.2544-2549 และค่าเฉลี่ย 6 ปี โดยปีที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุดคือปี พ.ศ.2545 ขณะที่ปี พ.ศ.2547 เป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด และปี พ.ศ.2546-2548 มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 6 ปี



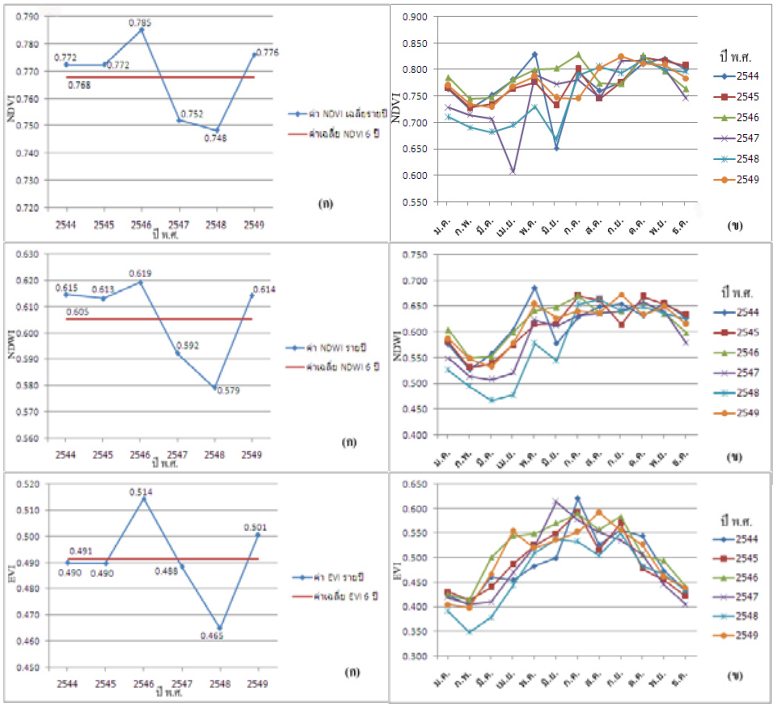
ภาพที่ 4 (ก) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยปี 2544–2549 และค่าเฉลี่ยหกปี (ข) ปริมาณน้ำฝนรายเดือนปี 2544–2549

เมื่อพิจารณาภาพ 4(ข) ปริมาณน้ำฝนเป็นรายเดือน ช่วงของฤดูฝนจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม แต่อาจมีฝนทิ้งช่วงหรือลดลงเล็กน้อยในเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม ก่อนจะเพิ่มสูงขึ้นจนสูงสุดในช่วงเดือนสิงหาคมและกันยายน ช่วงสองเดือนดังกล่าวนี้อาจมีปริมาณน้ำฝนสูงถึง 1 ใน 3 ของปริมาณน้ำฝนตลอดทั้งปี และเมื่อถึงเดือนตุลาคมปริมาณน้ำฝนจะเริ่มลดลงอย่างมาก ก่อนจะเข้าสู่ฤดูแล้งในเดือนพฤศจิกายน เฉลี่ยแล้วตลอดช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมจะมีส่วนของปริมาณน้ำฝนมากถึง 70% ของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ตลอดทั้งปี

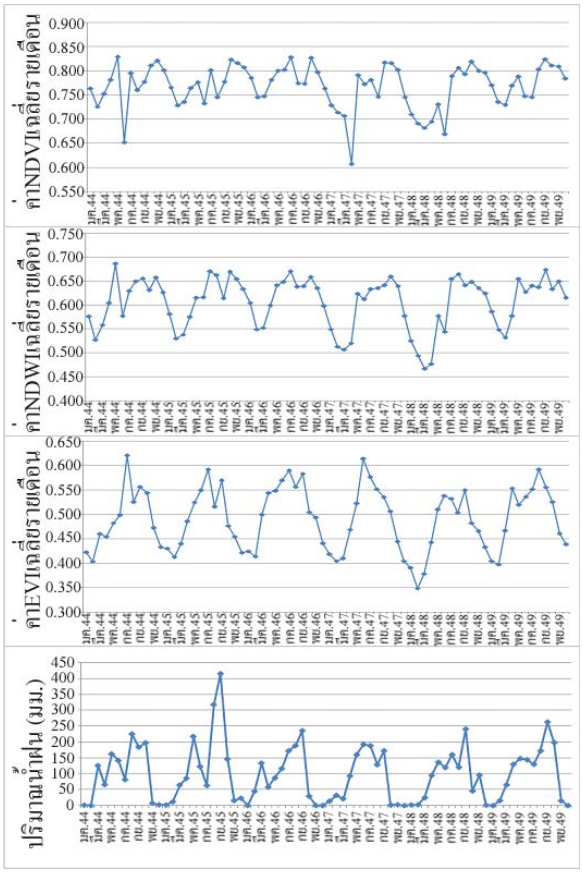
ค่าเฉลี่ย NDVI, NDWI และ EVI รายเดือนและค่าเฉลี่ยรายปีแสดงในภาพที่ 5 ค่าต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กับความเขียวและความสมบูรณ์ของพืชพรรณในพื้นที่อันเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนที่พืชได้รับ ค่า NDVI ที่สูงชี้ถึงพืชพรรณที่มีสุขภาพดีขณะที่ค่าที่ต่ำแสดงถึงสถานะพืชพรรณที่ไม่สมบูรณ์ ค่า NDWI ชี้ถึงปริมาณน้ำในพืชพรรณและในดิน บริเวณที่ NDWI มีค่าสูงแสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณที่มีความชื้นสูง และบริเวณที่มีค่า NDWI ต่ำแสดงว่าพืชพรรณในพื้นที่บริเวณนั้นมีความชื้นต่ำ ส่วนค่า EVI จะบ่งบอกถึงความหนาแน่นของเรือนยอดและปริมาณชีวมวลที่มีในพื้นที่

ค่าเฉลี่ยรายปีของ NDVI มีค่าสูงสุดในปี 2546 ต่ำสุดในปี 2548 และมีสองปีที่มีค่าเฉลี่ยตลอดปีต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรวม 6 ปี คือ 2547 และ 2548 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบกันทั้ง 6 ปี พบว่าในเดือนเมษายนและมิถุนายนมีความแปรปรวนของค่ามากที่สุด สำหรับ NDWI รูปแบบของค่าเฉลี่ยรายปีเป็นไปในทิศทางเดียวกับ NDVI คือมีค่าเฉลี่ยรายปีสูงสุดในปี 2546 และค่าต่ำสุดในปี 2548 และปีที่มีค่าเฉลี่ยตลอดปีต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรวม 6 ปี คือ 2547 และ 2548 เช่นเดียวกันค่าเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบกันทั้ง 6 ปี แสดงให้เห็นว่าในเดือนกรกฎาคมถึงพฤศจิกายน NDWI ค่อนข้างจะมีค่าคงที่และใกล้เคียงกันทุกปี ส่วนในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายนที่ค่ามีความแปรปรวนนั้นก็มีความแปรปรวนในแต่ละเดือนน้อยกว่าความแปรปรวนของค่า NDVI ค่า EVI มีค่าเฉลี่ยรายปีต่ำกว่าแต่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับสองดัชนีข้างต้น คือค่าเฉลี่ยรายปีสูงสุดในปี 2546 และต่ำสุดในปี 2548 นอกจากปี 2548 ซึ่งค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรวม 6 ปีค่อนข้างมากแล้ว ปี 2544 2545 และ 2547 ต่างก็มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรวม 6 ปีเล็กน้อย ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ EVI แสดงให้เห็นว่า EVI มีแนวโน้มของความเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดทุกเดือน โดยมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และค่าจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นทุกเดือนจนสูงที่สุดในเดือนกรกฎาคมก่อนจะลดต่ำลงทุกๆเดือนในอัตราใกล้เคียงกัน

เพื่อให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของ NDVI, NDWI และ EVI ได้ดีขึ้น รูปแบบของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่จะถูกนำมาอธิบายเปรียบเทียบกับค่าดัชนีทั้งสาม ในภาพที่ 6 เห็นได้ว่าคาบของปริมาณน้ำฝนและคาบของค่าเฉลี่ย NDWI และค่าเฉลี่ย EVI ปรากฏเป็นคาบตรงกันอย่างเด่นชัด ส่วนค่าเฉลี่ย NDVI ก็มีแนวโน้มที่จะปรากฏเป็นคาบที่ตรงกันกับค่าปริมาณน้ำฝนเช่นกัน



ภาพที่ 5 ค่า NDVI NDWI และ EVI (ก) เฉลี่ยรายปี (ข) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายเดือนปี 2544-2549

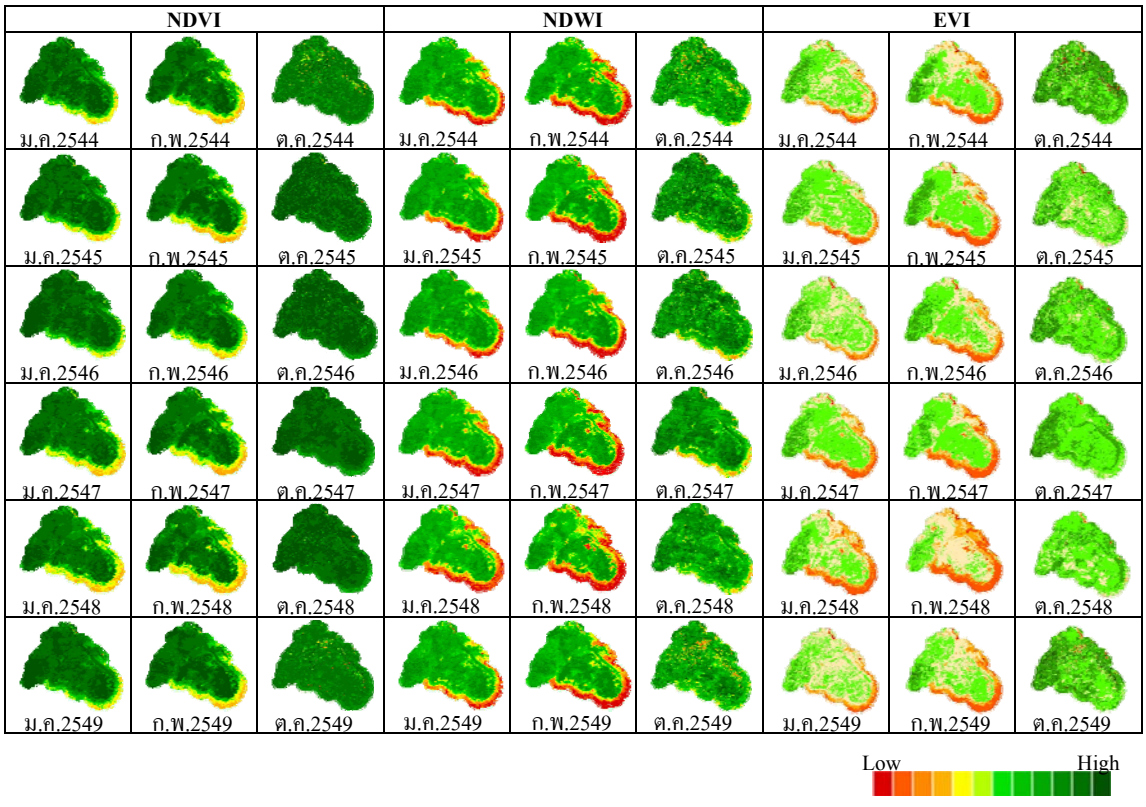


ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและค่าเฉลี่ยรายเดือนของ NDVI NDWI และ EVI ปี พ.ศ.2544-2549

ความแตกต่างของค่า NDVI NDWI และ EVI สำหรับเดือนมกราคม กุมภาพันธ์และตุลาคมปี พ.ศ.2545-2549 แสดงตามพื้นที่ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว (ภาพที่ 7) ความแตกต่างที่สำคัญของชีพลักษณ์ของพืชพรรณสามารถสังเกตได้จากภาพ NDVI เดือนที่ขาดน้ำ(มกราคมและกุมภาพันธ์) พื้นที่บริเวณรอบเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียวด้านทิศใต้และตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าเต็งรังและพืชล้มลุกหรือพืชไร่ (Annual Crops) จะถูกจำแนกด้วยค่า NDVI ที่ต่ำกว่าป่าไม่ผลัดใบอย่างป่าดิบเขาและป่าดิบแล้งซึ่งอยู่ตอนกลางของพื้นที่ เนื่องมาจากการที่ป่าเต็งรังมีการทิ้งใบและพืชไร่มีการเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาดังกล่าว ทำให้พื้นที่บริเวณนั้นไม่มีใบพืชปกคลุม ค่า NDVI ซึ่งมีความไวต่อคลอโรฟิลล์ในใบพืชจึงลดต่ำลงในบริเวณดังกล่าว และค่าในเดือนกุมภาพันธ์จะต่ำกว่าในเดือนมกราคมอย่างสังเกตได้ ส่วนในช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูง(ตุลาคม) ค่า NDVI จะสูงในพื้นที่ทุกประเภทโดยไม่มีความแตกต่างที่เห็นได้ชัดนำมาซึ่งความเขียวบนพื้นที่ทั้งหมด

ภาพ NDWI ในช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูงจะให้รูปแบบที่เหมือนกับค่าในภาพ NDVI แต่อาจพบว่าช่วงของค่า NDWI มีค่าที่น้อยกว่า ผลลัพธ์ของ NDWI จึงให้ค่าความเขียวของพื้นที่ที่น้อยกว่า และในพื้นที่ป่าเต็งรังมีความแตกต่างปรากฏในเห็นเป็นบางส่วน ในฤดูแล้งเมื่อพื้นที่แห้งลงภาพ NDWI จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างรวดเร็ว การทิ้งใบของป่าเต็งรังและการเก็บเกี่ยวของพืชไร่ส่งผลต่อค่า NDWI ให้มีค่าลดลงเนื่องจาก NDWI มีปฏิกิริยาต่อปริมาณน้ำทั้งพืชพรรณและในดิน ทำให้เกิดความแตกต่างที่เห็นเด่นชัดในความเขียวระหว่างป่าไม่ผลัดใบกับป่าเต็งรังและพืชไร่ที่ถูกเก็บเกี่ยวแล้ว รวมถึงความแตกต่างระหว่างป่าเต็งรังกับพืชไร่ที่สามารถแยกจากกันได้มากกว่าด้วย ขณะที่ค่า NDVI ในฤดูแล้งของป่าเต็งรังกับพืชไร่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับภาพ EVI พบว่าค่าในภาพมีค่าน้อยกว่าและมีช่วงกว้างน้อยกว่า NDVI และ NDWI แต่มีความแตกต่างอย่างเด่นชัดของค่าในพื้นที่ ในช่วงฤดูที่ขาดน้ำพื้นที่ป่าดิบเขาและป่าดิบแล้งพบความแตกต่างอย่างที่นัยสำคัญ สามารถจำแนกได้ค่อนข้างชัดเจน เช่นเดียวกับพื้นที่ป่าเต็งรังและพืชไร่ก็มีแตกต่างสามารถจำแนกออกได้จากป่าไม่ผลัดใบทั้งสองประเภท และเดือนกุมภาพันธ์มีความแตกต่างของป่าเต็งรังที่ชัดเจนกว่าเดือนมกราคม ส่วนในช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูง (เดือนตุลาคม) พื้นที่ป่าดิบเขามีความแตกต่างอย่างมีนัยจากพื้นที่ประเภทอื่นๆ



ภาพที่ 7 ค่า NDVI NDWI และ EVI เดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และตุลาคมปี พ.ศ.2544-2549 พื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว

5.2 ผลการทดสอบความแตกต่างของดัชนีข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลากับประเภทของสิ่งปกคลุมดิน

วัตถุประสงค์ในการทดสอบนี้เพื่อแสดงค่าของดัชนี NDVI, NDWI และ EVI ตามประเภทของสิ่งปกคลุมดินทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน ค่าเฉลี่ยรายเดือนและค่าการทดสอบทางสถิติของ NDVI, NDWI และ EVI แบ่งตามประเภทของสิ่งปกคลุมดินหรือประเภทของป่าในฤดูฝน(ตุลาคม) ต้นฤดูแล้ง(พฤศจิกายนและธันวาคม) และปลายฤดูแล้ง(มกราคมและกุมภาพันธ์) สำหรับปี 2545 และปี 2547 ซึ่งเป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดและต่ำสุด (ตารางที่ 2) พบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนของ NDVI ในพื้นที่ป่าดิบเขาและป่าดิบแล้งแตกต่างอย่างมีนัยกับพื้นที่ป่าเต็งรัง ทุ่งหญ้า และพืชไร่ในช่วงเดือนที่ขาดน้ำ (ปลายฤดูแล้ง) เห็นได้จากผลต่างของค่า NDVI ของพื้นที่แต่ละประเภทมีค่ามากกว่าค่า LSD ในเดือนดังกล่าว ส่วนในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นในดินสูง ค่า NDVI ในพื้นที่ป่าดิบแล้งจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับค่าในพื้นที่ป่าดิบเขาและป่าดิบแล้งจนมองไม่เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอีก ขณะที่ค่า NDWI จะยังสามารถเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ป่าเต็งรัง ทุ่งหญ้า และพืชไร่กับพื้นที่ป่าดิบเขาและป่าดิบแล้งได้ในเดือนที่มีความชื้นในดินสูง

ส่วนในช่วงเดือนที่ขาดน้ำความแตกต่างจะยิ่งชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในส่วนของค่า EVI ในช่วงเดือนที่มีความชื้นในดินสูงค่าในพื้นที่แต่ละประเภทมีความแตกต่างกันน้อยมากจนเรียกได้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าของผลต่างระหว่างพื้นที่แต่ละประเภทยังน้อยกว่าค่า LSD แต่หากเทียบกับความแตกต่างในค่า NDVI พบว่าค่า EVI แสดงความแตกต่างระหว่างพื้นที่ต่างประเภทมากกว่า และเมื่อถึงเดือนที่ขาดน้ำ พื้นที่ป่าเต็งรัง ทุ่งหญ้า และพืชไร่กับพื้นที่ป่าดิบเขาและป่าดิบแล้งก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน การทดสอบสถิติ LSD ของความแตกต่างระหว่างค่า NDVI, NDWI และ EVI สำหรับประเภทของสิ่งปกคลุมดินหลักบ่งบอกว่ามีความแตกต่างที่สำคัญระหว่างป่าเต็งรังกับป่าไม่ผลัดใบทั้งสองประเภท (ป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง) ในช่วงฤดูแล้งซึ่งพืชพรรณในป่าเต็งรังมีการทิ้งใบ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีความหมายของค่าระหว่างป่าประเภทต่างๆ ในฤดูฝนที่ความชื้นในดินมีสูง (เดือนตุลาคม)

5.3 แนวทางการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาพื้นที่การเกิดและระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม

ความแปรปรวนตามฤดูกาลของค่า NDVI, NDWI และ EVI มีผลมาจากสภาวะชีพลักษณ์ของพืชพรรณซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล การตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่โดยการใช้เทคนิคภาพผลต่าง (Images Differencing Technique) ระหว่างคู่ภาพต่างปีหรือต่างฤดูกาลสามารถบอกถึงความแตกต่างหรือความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีทั้งสาม และบอกเป็นระดับของความแห้งแล้งได้แม้เมื่อไม่มีข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

5.3.1 ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่จากภาพผลต่าง NDVI, NDWI และ EVI

การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่โดยเทคนิคภาพผลต่างซึ่งประยุกต์จากวิธีการของ Volcani et al. (2005) สำหรับดัชนี NDVI ทำให้ได้ภาพผลต่าง NDVI และใช้หลักการเดียวกันมาพัฒนาปรับใช้สำหรับอีกสองดัชนี ได้เป็นภาพผลต่าง NDWI และภาพผลต่าง EVI ซึ่งมีพื้นฐานมาจากความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีระหว่างคู่ภาพต่างวัน ประเมินความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีทั้งสามจากสถานะชีพลักษณ์ของพืชพรรณในช่วงเวลาที่ต่างกันระหว่าง 1) สองเดือนติดกันในช่วงฤดูแล้งของปีเดียวกัน 2) เดือนเดียวกันในช่วงฤดูแล้งปีติดกัน 3) เดือนเดียวกันในช่วงฤดูฝนปีติดกัน 4) เดือนฤดูฝนกับเดือนฤดูแล้งซึ่งอยู่ต่อเนื่องกัน (ปีอุทกศาสตร์เดียวกัน) ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพ dNDVI, dNDWI และ dEVI ตารางที่ 3 แสดงค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย(Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation) ของภาพผลลัพธ์ที่ได้

ค่าสถิติดังกล่าวนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงโดยกำหนดที่ค่าเฉลี่ยให้เป็นจุดอ้างอิง และกำหนดช่วง Thresholds เท่ากับช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation Steps: SD Steps) ออกจากค่าเฉลี่ยของผลต่างทั้งทางบวกและทางลบ เพื่อแสดงทิศทางและระดับความเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงในทางบวกแสดงว่าค่า NDVI, NDWI และ EVI ของภาพวันที่ 1 สูงกว่าค่าของภาพวันที่ 2 เกินกว่าหนึ่งช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน บ่งบอกถึงปริมาณคลอโรฟิลล์หรือความสมบูรณ์ของพืชที่มากขึ้น (สำหรับค่า NDVI) ปริมาณน้ำในพืชและในดินที่มากขึ้น (สำหรับค่า NDWI) และปริมาณชีวมวลที่มากขึ้น (สำหรับค่า EVI) นั่นเอง ทำนองเดียวกันการเปลี่ยนแปลงในทางลบซึ่งแสดงว่าค่า NDVI, NDWI และ EVI ของภาพวันที่ 1 ต่ำกว่าค่าของภาพวันที่ 2 เกินกว่าหนึ่งช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะบ่งบอกถึงการลดลงของค่าต่างๆ เหล่านั้นเช่นกัน ลำดับขั้นที่มากขึ้นแสดงถึงค่าความแตกต่างที่สูงขึ้น (ช่วง -1SD ถึง +1SD ถูกกำหนดให้แสดงความหมายว่า "ไม่มีการเปลี่ยนแปลง") ภาพที่ 8, 9 และ 10 แสดงการตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างของภาพ NDVI, NDWI และ EVI ตามลำดับ พร้อมทั้งเปอร์เซ็นต์ของความเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ซึ่งแสดงด้วยกราฟ Histograms ตามลำดับขั้นของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

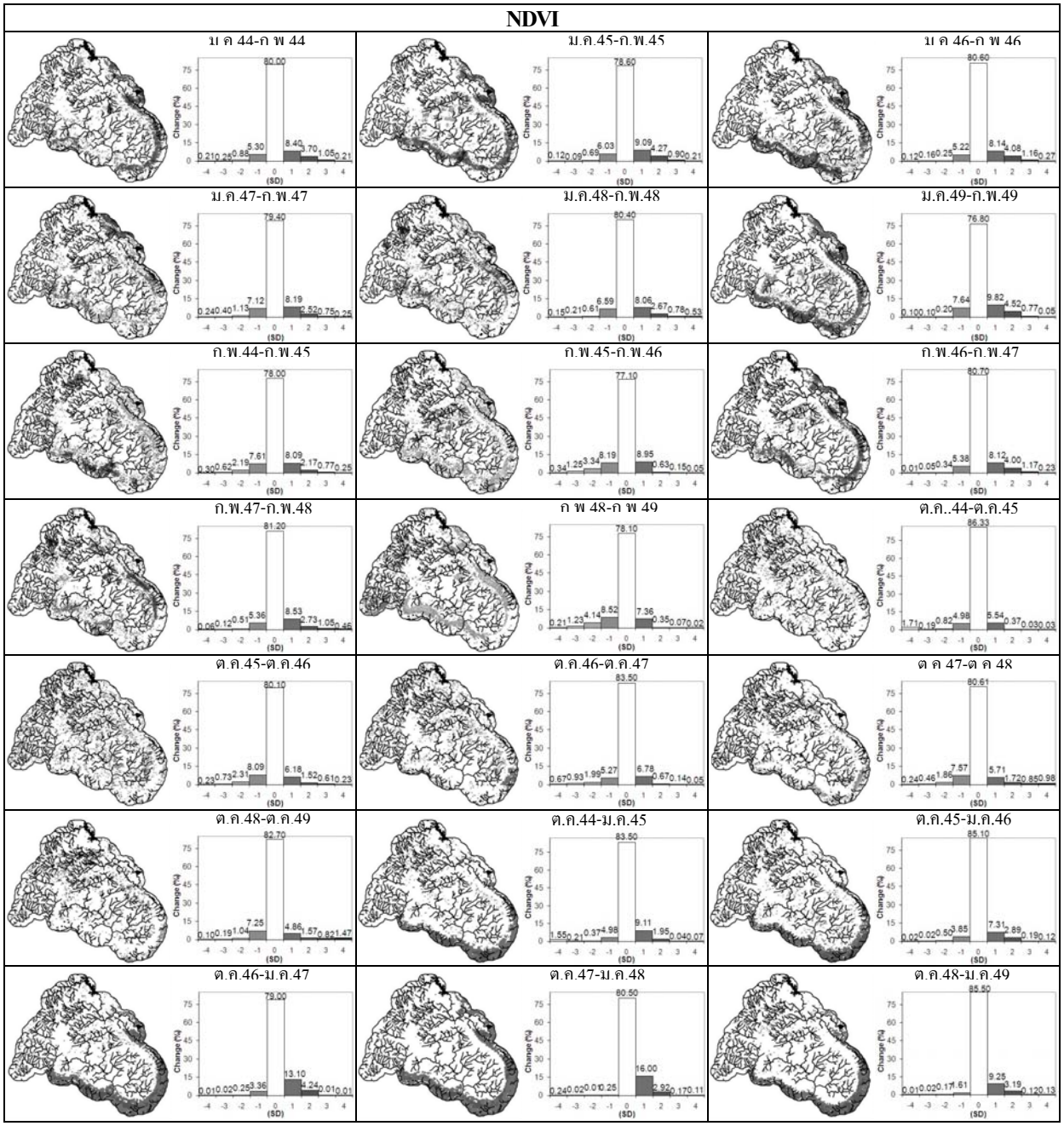
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ NDVI, NDWI และ EVI และค่าการทดสอบ LSD ในเดือนฤดูฝนและเดือนฤดูแล้ง สำหรับปีที่มีค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุด (2545) และปีที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำสุด (2547)

NDVI										
ประเภทสิ่งปกคลุมดิน	**ม.ค.45**	**ก.พ.45**	**ต.ค.45**	**พ.ย.45**	**ธ.ค.45**	**ม.ค.47**	**ก.พ.47**	**ต.ค.47**	**พ.ย.47**	**ธ.ค.47**
ทุ่งหญ้า	0.720	0.661	0.771	0.779	0.754	0.688	0.656	0.773	0.758	0.699
ป่าดิบเขา	0.836	0.838	0.843	0.838	0.858	0.824	0.825	0.841	0.853	0.841
ป่าดิบแล้ง	0.803	0.774	0.828	0.845	0.830	0.773	0.749	0.835	0.837	0.786
ป่าเต็งรัง	0.510	0.403	0.826	0.806	0.720	0.415	0.405	0.789	0.689	0.479
ป่าไผ่	0.798	0.768	0.843	0.813	0.842	0.784	0.776	0.821	0.828	0.804
พืชไร่	0.494	0.407	0.737	0.706	0.631	0.421	0.388	0.690	0.583	0.454
สวนป่า	0.760	0.692	0.818	0.823	0.807	0.732	0.672	0.826	0.813	0.745
LSD (0.05)	**0.063**	**0.069**	**0.040**	**0.028**	**0.040**	**0.063**	**0.080**	**0.028**	**0.040**	**0.057**
% c.v.	**10.056**	**11.934**	**5.525**	**3.946**	**5.753**	**10.674**	**14.005**	**3.971**	**5.840**	**9.206**
NDWI										
ประเภทสิ่งปกคลุมดิน	**ม.ค.45**	**ก.พ.45**	**ต.ค.45**	**พ.ย.45**	**ธ.ค.45**	**ม.ค.47**	**ก.พ.47**	**ต.ค.47**	**พ.ย.47**	**ธ.ค.47**
ทุ่งหญ้า	0.501	0.416	0.589	0.588	0.557	0.475	0.409	0.554	0.779	0.593
ป่าดิบเขา	0.686	0.692	0.709	0.693	0.710	0.673	0.672	0.710	0.838	0.646
ป่าดิบแล้ง	0.627	0.569	0.687	0.695	0.660	0.595	0.555	0.677	0.845	0.656
ป่าเต็งรัง	0.244	0.121	0.647	0.618	0.496	0.199	0.115	0.613	0.496	0.284
ป่าไผ่	0.627	0.574	0.664	0.631	0.663	0.604	0.583	0.658	0.813	0.627
พืชไร่	0.206	0.102	0.551	0.515	0.382	0.164	0.068	0.366	0.706	0.583
สวนป่า	0.566	0.459	0.669	0.67	0.637	0.540	0.442	0.652	0.823	0.676
LSD (0.05)	**0.085**	**0.098**	**0.028**	**0.028**	**0.057**	**0.080**	**0.117**	**0.049**	**0.040**	**0.057**
% c.v.	**19.212**	**17.992**	**4.035**	**5.020**	**8.485**	**19.261**	**32.080**	**9.060**	**5.908**	**10.893**
EVI										
ประเภทสิ่งปกคลุมดิน	**ม.ค.45**	**ก.พ.45**	**ต.ค.45**	**พ.ย.45**	**ธ.ค.45**	**ม.ค.47**	**ก.พ.47**	**ต.ค.47**	**พ.ย.47**	**ธ.ค.47**
ทุ่งหญ้า	0.374	0.329	0.441	0.387	0.366	0.355	0.315	0.468	0.398	0.355
ป่าดิบเขา	0.464	0.471	0.479	0.483	0.444	0.464	0.467	0.499	0.450	0.436
ป่าดิบแล้ง	0.444	0.407	0.465	0.441	0.401	0.421	0.399	0.485	0.431	0.385
ป่าเต็งรัง	0.291	0.214	0.480	0.431	0.389	0.216	0.203	0.496	0.379	0.256
ป่าไผ่	0.498	0.499	0.517	0.508	0.506	0.506	0.475	0.566	0.511	0.490
พืชไร่	0.262	0.220	0.448	0.412	0.351	0.242	0.204	0.439	0.336	0.260
สวนป่า	0.437	0.394	0.536	0.514	0.458	0.424	0.343	0.560	0.479	0.405
LSD (0.05)	**0.063**	**0.069**	**0.056**	**0.049**	**0.049**	**0.056**	**0.063**	**0.040**	**0.049**	**0.049**
% c.v.	**17.870**	**21.404**	**13.151**	**12.076**	**13.154**	**16.858**	**20.578**	**8.912**	**12.846**	**14.823**

ตารางที่ 3 คู่ภาพที่ใช้วิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงและค่าทางสถิติ (ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของภาพผลลัพธ์

ช่วงความเปลี่ยนแปลง		**dNDVI**		**dNDWI**		**dEVI**	
ภาพวันที่ 1	**ภาพวันที่ 2**	**Mean**	**SD**	**Mean**	**SD**	**Mean**	**SD**
มกราคม 2544	กุมภาพันธ์ 2544	0.037	0.053	0.049	0.072	0.019	0.06
มกราคม 2545	กุมภาพันธ์ 2545	0.038	0.055	0.051	0.073	0.018	0.053
มกราคม 2546	กุมภาพันธ์ 2546	0.04	0.051	0.055	0.070	0.011	0.057
มกราคม 2547	กุมภาพันธ์ 2547	0.014	0.039	0.036	0.066	0.014	0.043
มกราคม 2548	กุมภาพันธ์ 2548	0.019	0.045	0.031	0.067	0.042	0.039
มกราคม 2549	กุมภาพันธ์ 2549	0.035	0.055	0.038	0.075	0.007	0.052
กุมภาพันธ์ 2544	กุมภาพันธ์ 2545	-0.001	0.040	-0.003	0.057	-0.009	0.043
กุมภาพันธ์ 2545	กุมภาพันธ์ 2546	-0.018	0.040	-0.019	0.057	-0.001	0.042
กุมภาพันธ์ 2546	กุมภาพันธ์ 2547	0.032	0.054	0.036	0.070	0.009	0.052
กุมภาพันธ์ 2547	กุมภาพันธ์ 2548	0.023	0.050	0.020	0.067	0.056	0.048
กุมภาพันธ์ 2548	กุมภาพันธ์ 2549	-0.044	0.061	-0.054	0.076	-0.049	0.047
ตุลาคม 2544	ตุลาคม 2545	-0.026	0.144	-0.030	0.108	0.058	0.113
ตุลาคม 2545	ตุลาคม 2546	-0.004	0.071	0.003	0.056	-0.027	0.072
ตุลาคม 2546	ตุลาคม 2547	0.011	0.054	0.007	0.050	-0.002	0.057
ตุลาคม 2547	ตุลาคม 2548	-0.003	0.042	0.004	0.047	0.024	0.055
ตุลาคม 2548	ตุลาคม 2549	0.010	0.097	0.015	0.085	-0.042	0.088
ตุลาคม 2544	มกราคม 2545	0.023	0.191	0.050	0.187	0.104	0.130
ตุลาคม 2545	มกราคม 2546	0.029	0.122	0.057	0.132	0.052	0.080
ตุลาคม 2546	มกราคม 2547	0.090	0.157	0.109	0.159	0.086	0.105
ตุลาคม 2547	มกราคม 2548	0.097	0.149	0.126	0.150	0.116	0.087
ตุลาคม 2548	มกราคม 2549	0.039	0.119	0.062	0.133	0.078	0.078

ภาพผลต่าง NDVI (ภาพที่ 8) ระหว่างเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ปีเดียวกัน พื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงคิดเป็น 76.8-80.6 % ของพื้นที่ศึกษา ส่วนมากเป็นพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบอย่างป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง พื้นที่ที่มีความเปลี่ยนแปลงทางบวกแสดงว่าค่า NDVI ในเดือนมกราคมสูงกว่าเดือนกุมภาพันธ์คือพื้นที่ป่าเต็งรัง เนื่องจากในเดือนมกราคมพืชพรรณในป่าเต็งรังอยู่ในช่วงต้นของการทิ้งใบจึงยังมีใบมากกว่าเดือนกุมภาพันธ์ที่ใบร่วงหล่นเกือบหมดแล้ว ภาพผลต่างของปี 2547 และ 2548 พื้นที่ป่าเต็งรังปรากฏลักษณะ "ไม่เปลี่ยนแปลง" มากกว่าภาพในปีอื่น เนื่องจากทั้งสองปีเป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย การทิ้งใบของพืชเกิดขึ้นเร็วกว่าปกติ ทำให้ค่า NDVI ในเดือนมกราคมมีค่าสูงกว่าเดือนกุมภาพันธ์ไม่มาก (ผลต่างน้อยกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ปีติดกันภาพผลต่าง NDVI ให้ผลพื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 77.1-81.2 % ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ที่เกิดความเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ป่าเต็งรังมีการแสดงออกทั้งทางบวกและทางลบ เนื่องจากความแปรปรวนของการผลัดใบของพืชพรรณในพื้นที่อันเนื่องมาจากปริมาณน้ำในแต่ละปี การเกิดความเปลี่ยนแปลงทางบวก เช่นในภาพผลต่างระหว่างปี 2546 กับปี 2547 หรือในภาพผลต่างปี 2547 กับ 2548 แสดงว่าค่า NDVI ในพื้นที่ดังกล่าวของปีแรกสูงกว่าปีหลัง หมายถึงการมีพืชพรรณปกคลุมที่มากกว่าเนื่องจากปริมาณน้ำที่มากกว่าทำให้พืชมีการทิ้งใบน้อยและมีความสมบูรณ์มากกว่า ในทางกลับกันสำหรับพื้นที่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางลบก็จะหมายถึงการทิ้งใบที่มากและความสมบูรณ์ที่น้อยกว่าของภาพปีแรกเมื่อเทียบกับภาพปีที่สองนั่นเอง

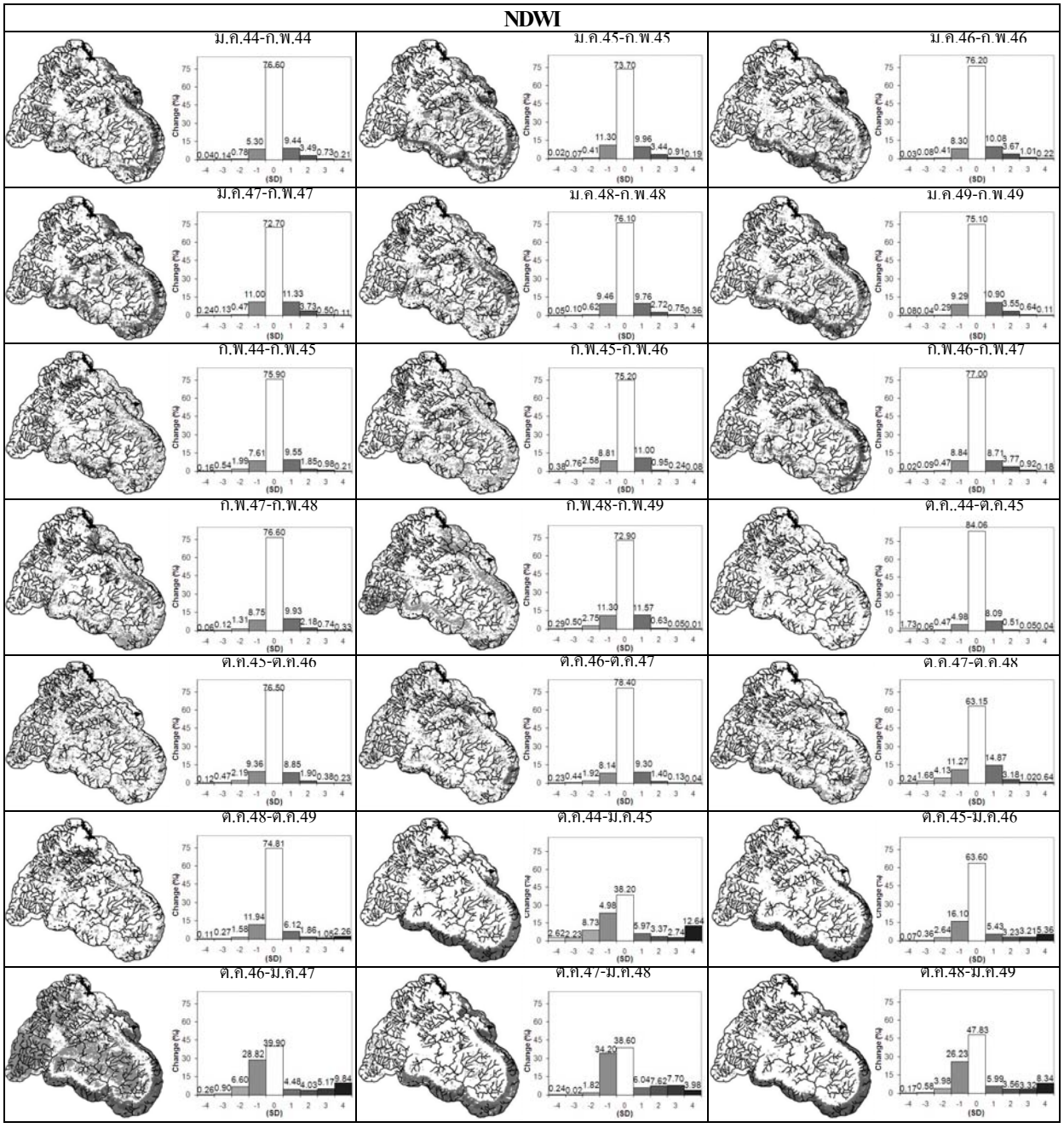


ภาพที่ 8 ภาพผลต่าง NDVI และกราฟ Histogram แสดงความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธ์สัตว์ป่าภเขียว

ภาพผลต่าง NDVI เดือนตุลาคมปีติดกัน ให้ผลพื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าภาพในฤดูแล้งคือตั้งแต่ 80.1-86.33 % ของพื้นที่ศึกษา ในส่วนของพื้นที่ที่เกิดความเปลี่ยนแปลงจะเกิดเป็นบริเวณเล็กๆกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ป่าทุกประเภท เนื่องจากในเดือนตุลาคมเป็นช่วงเวลาฤดูฝน ป่าทุกประเภทได้รับน้ำฝนมาก ทำให้พืชพรรณในทุกพื้นที่มีความสมบูรณ์เต็มที่ใกล้เคียงกัน

ระหว่างเดือนตุลาคม(ฤดูฝน) และเดือนมกราคม(ฤดูแล้ง) ในปีอุทกศาสตร์เดียวกัน พื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงคิดเป็น 79.0-85.5 % ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ป่าผลัดใบอย่างป่าเต็งรังแสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางบวก เนื่องจากในช่วงฤดูฝนเดือนตุลาคม พืชพรรณได้รับน้ำเต็มที่จึงมีความสมบูรณ์ ค่า NDVI มีค่าสูง ส่วนในเดือนมกราคมซึ่งเข้าสู่ฤดูแล้งแล้ว ความชื้นในพื้นที่ลดลง พืชพรรณในพื้นที่ป่าเต็งรังแสดงอาการขาดน้ำและเริ่มทิ้งใบทำให้ค่า NDVI ลดต่ำลง จึงแสดงออกในภาพผลต่างดังกล่าว

ภาพผลต่าง NDWI (ภาพที่ 9) เดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ปีเดียวกัน มีพื้นที่ที่ไม่เปลี่ยนแปลง 72.7-76.6 % การเปลี่ยนแปลงเป็นไปในแนวทางเดียวกับภาพผลต่าง NDVI คือเปลี่ยนแปลงทางบวกเด่นชัดในป่าเต็งรัง และปีที่มีความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นน้อยกว่าปีอื่นคือปี 2547 และ 2548 อย่างไรก็ตามภาพผลต่าง NDWI ให้ขนาดของความเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าภาพ NDVI เล็กน้อย

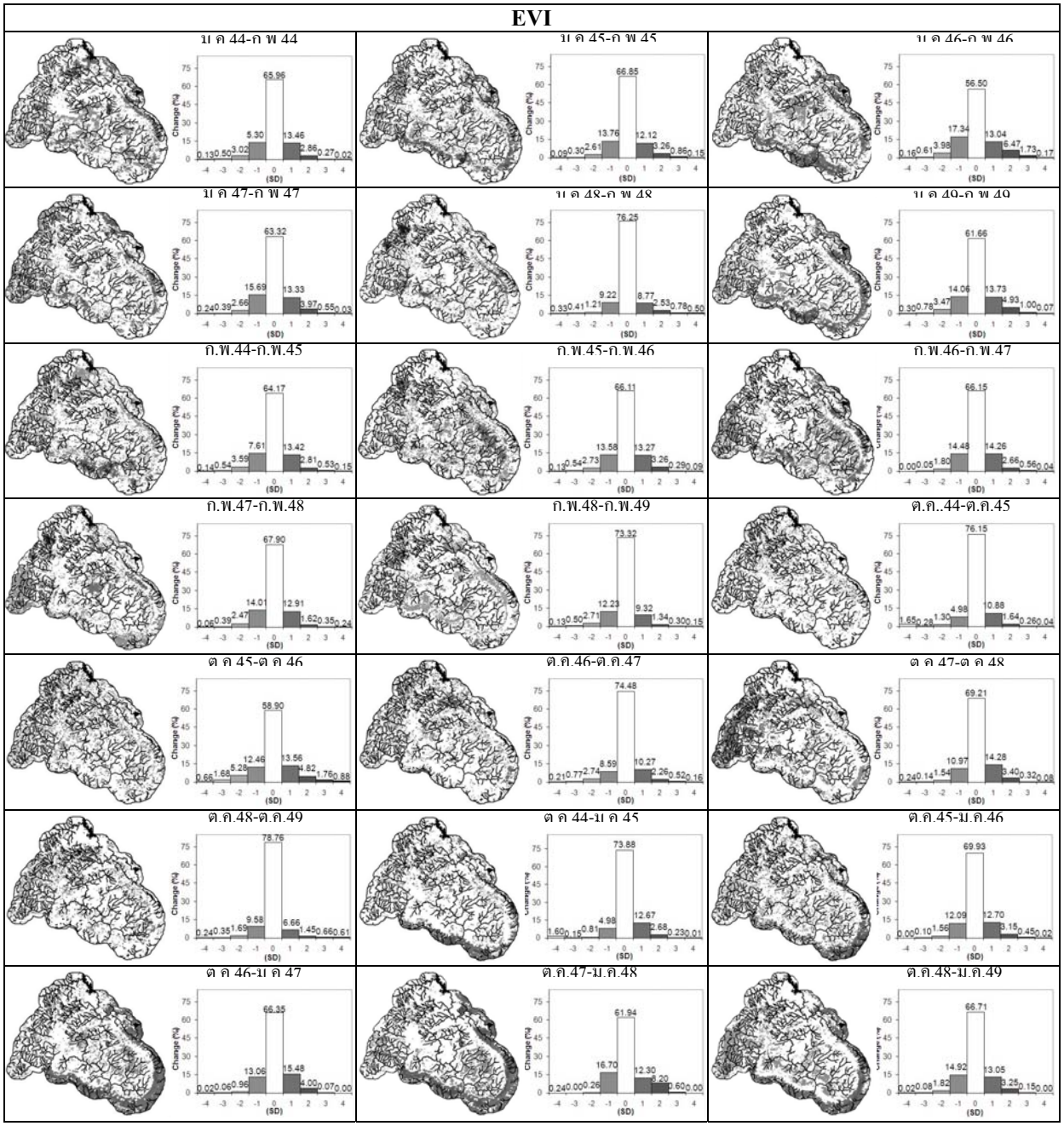


ภาพที่ 9 ภาพผลต่าง NDWI และกราฟ Histogram แสดงความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว

ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ปีติดกัน พื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงคือ 72.9-77.0 % พื้นที่เปลี่ยนแปลงทั้งทางบวกและทางลบในลำดับขั้นแรก (+1SD ถึง +2SD และ -1SD ถึง -2SD) มีความเปลี่ยนแปลงสูงกว่าในภาพผลต่าง NDVI แต่ในลำดับขั้นความเปลี่ยนแปลงที่สูงขึ้น (มากกว่า +2SD และ -2SD) มีความเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า

เดือนตุลาคมปีติดกัน พื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงคิดเป็น 63.15-84.06 % ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่เกิดความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั่วไปในป่าทุกประเภท และเห็นความเปลี่ยนแปลงอย่างมีเอกลักษณ์ของพื้นที่ป่าเต็งรังชัดเจนกว่าที่เห็นในภาพผลต่าง NDVI

ภาพผลต่าง NDWI ระหว่างเดือนตุลาคม (ฤดูฝน) และเดือนมกราคม (ฤดูแล้ง) ปีอุทกศาสตร์เดียวกัน เห็นความเปลี่ยนแปลงทั้งทางบวกและทางลบในพื้นที่อย่างชัดเจน พื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงมีเพียง 38.2-63.6 % ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ป่าผลัดใบอย่างป่าเต็งรังแสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางบวกเช่นกันกับภาพผลต่าง NDVI แต่มีลำดับขั้นของความเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าอย่างชัดเจน ส่วนในพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบแสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงในทางลบ แสดงถึงค่า NDWI ในเดือนตุลาคมที่ต่ำกว่าเดือนมกราคม



ภาพที่ 10 ภาพผลต่าง EVI และกราฟ Histogram แสดงความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว

ภาพผลต่าง EVI ระหว่างเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ปีเดียวกัน (ภาพที่ 10) มีพื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 56.5-76.25 % ของพื้นที่ศึกษา ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับภาพผลต่าง NDVI และภาพผลต่าง NDWI แต่แสดงความเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าภาพผลต่างสองดัชนีแรก

ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ปีติดกัน ภาพผลต่าง EVI ให้ผลพื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 64.17-73.32 % ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ที่เกิดความเปลี่ยนแปลงทั้งทางบวกและทางลบมีค่าความเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าความเปลี่ยนแปลงในภาพผลต่าง NDVI และภาพผลต่าง NDWI

ระหว่างเดือนตุลาคมปีติดกัน ภาพผลต่าง EVI พื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงคิดเป็นพื้นที่ 58.9-78.75 % ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ที่เกิดความเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเกิดขึ้นในภาพระหว่างเดือนตุลาคมปี 2545 กับภาพเดือนตุลาคมปี 2546 มีค่าความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น 41.1 % แสดงว่าค่า EVI ของทั้งสองปีมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่างสองปีดังกล่าว

ภาพผลต่าง EVI ระหว่างเดือนตุลาคมและเดือนมกราคมในปีอุทกศาสตร์เดียวกัน มีพื้นที่ที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งหมด 61.94-73.88 % ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ป่าผลัดใบอย่างป่าเต็งรังแสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางบวกชัดเจนเช่นเดียวกับภาพผลต่าง NDVI แต่มีขนาดของความเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าและเด่นชัดกว่า และมีความเปลี่ยนแปลงในทางลบเกิดขึ้นในพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบแสดงถึงค่า EVI ในเดือนตุลาคมที่ต่ำกว่าเดือนมกราคมด้วย

จากภาพผลต่างระหว่างคู่ภาพต่างวันของดัชนี NDVI, NDWI และ EVI พบว่าภาพผลต่าง NDVI ให้ค่าความเปลี่ยนแปลงในฐานะผลลัพธ์ของความแตกต่างของพืชพรรณที่ปกคลุม (ความสมบูรณ์และค่าคลอโรฟิลด์) ขณะที่ระดับของความเปลี่ยนแปลงและความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในภาพผลต่าง NDWI เป็นผลมาจากทั้งพืชพรรณที่ปกคลุมและปริมาณน้ำที่มีในพืชพรรณ ส่วนภาพผลต่าง EVI จะมีผลมาจากค่าชีวมวลของพืชพรรณในพื้นที่เป็นสำคัญ ประโยชน์เพิ่มเติมของความเปลี่ยนแปลงทั้ง NDVI, NDWI และ EVI ถูกแนะนำสำหรับการศึกษาหลักเกณฑ์การใช้สรีรวิทยาเพื่อจำแนกความแห้งแล้ง ค่า NDVI ตอบสนองอย่างมากต่อปริมาณคลอโรฟิลด์ในสภาวะแห้งแล้งหรือสภาวะที่ชุ่มชื้นด้วยเช่นกัน แต่มีข้อจำกัดเนื่องมาจากความอิ่มตัวต่อค่าชีวมวลที่สูง ค่า EVI แสดงลักษณะของความเปลี่ยนแปลงในแนวทางเดียวกับค่า NDVI แต่เห็นความชัดเจนได้มากกว่าเนื่องจากมีความไวต่อปริมาณชีวมวลหรือความหนาแน่นของชั้นใบไม้ที่ปกคลุมในพื้นที่ สำหรับค่า NDWI มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยปริมาณน้ำในพืชและในดินที่เพิ่มขึ้นเห็นได้ชัดในสภาวะที่ชุ่มชื้น และลดต่ำลงในสภาวะแห้งแล้งดังเช่นในภาพผลต่างระหว่างเดือนตุลาคมและเดือนมกราคม

ลักษณะความเปลี่ยนแปลงในภาพผลต่างอันเนื่องมากจากการตอบสนองของค่าดัชนี NDVI, NDWI และ EVI ที่มีต่อสภาวะพืชพรรณที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลหรือชีพลักษณ์ของพืชนี้สามารถบอกถึงระดับความเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาได้ จึงสามารถใช้บ่งบอกถึงสภาวะความแห้งแล้งได้แม้ว่าจะไม่มีข้อมูลสภาพอากาศก็ตาม

6.ข้อสรุปและเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

สภาวะชีพลักษณ์ของพืชพรรณที่ปกคลุมที่แตกต่างกันสามารถบ่งบอกรูปแบบเชิงพื้นที่และเวลา (The Spatio-Temporal Pattern) ของความแห้งแล้ง เนื่องจากพืชพรรณบางประเภทจะมีการตอบสนองต่อการขาดแคลนน้ำ ตัวอย่างเช่นในพื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว ป่าเต็งรังจะมีการตอบสนองต่อความแห้งแล้งด้วยการทิ้งใบแสดงให้เห็นชัดเจนถึงสภาวะชีพลักษณ์ของการผลัดใบ ความเปลี่ยนแปลงนั้นจะทำให้ค่า NDVI, NDWI และ EVI ของภาพถ่ายหลายช่วงเวลาที่ครอบคลุมพืชพรรณหลากหลายประเภทเปลี่ยนแปลงไป

6.1.1 ความแปรปรวนของค่า NDVI, NDWI และ EVI เนื่องจากความแห้งแล้ง

ค่า NDVI หรือดัชนีพืชพรรณที่วัดได้ในพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลา 6 ปีตั้งแต่ปี 2544-2549 มีค่าเฉลี่ย 0.768 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.785 ในปี 2546 และต่ำสุดที่ 0.748 ในปี 2548 ค่า NDVI รายเดือนจะมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และสูงสุดในเดือนตุลาคม ทั้งนี้ค่า NDVI ในแต่ละพื้นที่ก็จะแตกต่างกันออกไปในแต่ละประเภทของสิ่งปกคลุมดิน หากเป็นพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบค่า NDVI จะมีค่าสูงตลอดทั้งปีแตกต่างจากพื้นที่ป่าผลัดใบและพื้นที่การเกษตรที่จะมีค่าสูงในฤดูฝนและต่ำลงมากในฤดูแล้งหรือช่วงการเก็บเกี่ยว ดัชนีความชื้นหรือ NDWI ในช่วง 6 ปีที่ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยคือ 0.605 โดยค่าสูงสุดคือ 0.619 ในปี 2546 และต่ำสุดที่ 0.579 ในปี 2548 ค่า NDWI รายเดือนมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม และมีค่าสูงตลอดฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงพฤศจิกายน ค่า EVI เฉลี่ยในช่วง 6 ปีมีค่าเท่ากับ 0.491 ค่าสูงสุดในปี 2546 เท่ากับ

0.514 ค่าต่ำสุดในปี 2548 อยู่ที่ 0.465 ค่า EVI รายเดือนจะมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องจนสูงสุดในเดือนกรกฎาคม ค่า NDWI และ EVI ในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันออกไปตามประเภทของสิ่งปกคลุมดิน เช่นเดียวกับค่า NDVI กล่าวคือในพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบจะมีค่าสูงตลอดทั้งปี ขณะที่พื้นที่ป่าผลัดใบและพื้นที่การเกษตรที่จะมีค่าสูงในฤดูฝนและต่ำในฤดูแล้ง

6.1.2 ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่วิเคราะห์จากภาพผลต่าง NDVI, NDWI และ EVI

ภาพผลต่าง NDVI บ่งบอกความแตกต่างระหว่างพื้นที่ของพืชพรรณที่ปกคลุมประเภทต่างๆ ค่าผลต่าง NDVI ที่สูงกว่าให้ค่าระดับความเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าในพืชพรรณที่ปกคลุม ซึ่งความแตกต่างนี้สามารถบอกได้ทั้งทางบวกและทางลบ โดยแบ่งออกเป็นอย่างละสี่ระดับขั้นความรุนแรง ภาพผลต่าง NDWI ให้ความแตกต่างที่เกี่ยวข้องกับการผสานระหว่างพืชพรรณที่ปกคลุมและปริมาณน้ำที่มีอยู่ ส่วนภาพผลต่าง EVI จะมีความเกี่ยวข้องกับค่าชีวมวลในพื้นที่ เมื่อพิจารณาภาพผลต่างทั้งสามดัชนีประกอบกันจะสามารถบอกความหมายของรูปแบบเชิงพื้นที่และเวลาของความแห้งแล้งได้แทนที่การใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาหรือในกรณีที่ข้อมูลด้านภูมิอากาศมีไม่เพียงพอหรือไม่ครอบคลุมทั้งหมดนั่นเอง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 การใช้ค่าข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อตรวจวัดความแห้งแล้ง สำหรับบริเวณพื้นที่ที่มีเมฆ หมอกในช่วงฤดูฝนจะทำให้ค่าข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน มีค่าน้อยลงกว่าปกติ จึงต้องทำหน้ากากเพื่อกรองข้อมูลที่เป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากเมฆหรือหมอกให้ชัดเจน หรือหลีกเลี่ยงการใช้ข้อมูลในช่วงเวลานั้นหากเป็นไปได้

6.2.2 ความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ EVI) และค่าดัชนีความชื้น (NDWI) ตลอดช่วงฤดูการเจริญเติบโตและช่วงปีน้ำท่าแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงสภาวะด้านชีพลักษณ์ของป่าซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากกิจกรรมการสังเคราะห์แสง และจากปริมาณความชื้นที่อยู่ในพืชพรรณและในดิน

6.2.3 การศึกษาความแห้งแล้งโดยใช้ดัชนีพืชพรรณและดัชนีความชื้นมีความสัมพันธ์กับสภาวะด้านชีพลักษณ์ของพืช จึงต้องพิจารณาศึกษาโดยแบ่งประเภทของสิ่งปกคลุมดินหรือประเภทของป่าเพราะพืชพรรณในป่าแต่ละประเภทมีพฤติกรรมการเจริญเติบโต และการทิ้งใบตอบสนองต่อสภาวะความแห้งแล้งที่ไม่เหมือนกัน

6.2.4 การเปรียบเทียบระหว่างปีแสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI ค่า NDWI และค่า EVI ที่ชัดเจนมาก ในปีที่มีความแห้งแล้งรุนแรงจะส่งผลถึงปริมาณน้ำที่พืชจะนำมาใช้ เมื่อพืชเกิดขาดแคลนน้ำจะแสดงออกเป็นความเครียด (Stress) ตลอดช่วงปีแห้งแล้งนั้น

6.2.5 ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ EVI) และค่าดัชนีความชื้น (NDWI) มีการตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ ที่สามารถบ่งบอกถึงความแห้งแล้งต่างกันไป เมื่อนำภาพผลต่างทั้งสามดัชนีมาพิจารณาประกอบกันจะทำให้การศึกษาด้านความแห้งแล้งมีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2551). **ระบบนิเวศวิทยาสังคมพืชและลักษณะของสังคม.** ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2552, จาก http://cyberlab.lh1.ku.ac.th/elearn/faculty/forest/fo22/chap2/c2-1.htm

ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. (2540). **การสำรวจข้อมูลระยะไกล.** ขอนแก่น: ห.จ.ก.ขอนแก่นการพิมพ์.

ณกร วัฒนกิจ. (2551). **การตรวจวัดความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C. and Tucker, C.J. (2006). **A comparative study of NOAA–AVHRR derived drought indices using change vector analysis** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 105, 9–22.

Chen, D., Huang, J. and Jackson, T.J. (2005). **Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near – and short wave infrared bands** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 98, 225-236.

Cheng, Y-B., Ustin, S.L., Riaño, D., and Vanderbilt, V.C. (2008). **Water content estimation from hyperspectral images and MODIS indexes in Southeastern Arizona** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 112, 363-374.

Gao, B-C. (1996). NDWI - **A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 58, 257-266.

Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T. and Li, Z-L. (2007). **Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method** [Electronic version]. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 62, 150-164.

Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P. and Wardlow, B. (2007). **A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States** [Electronic version]. Geophysical Research Letters, 34, L 06407.

Heim, R.R.Jr. (2002). **A review of 20th century drought indices used in the United States** [Electronic version]. American Meteorological Society Journals Online, 83(8), 1149–1165.

Houborg, R., Soegaard, H. and Boegh, E. (2007). **Combining vegetation index and model inversion methods for the extraction of key vegetation biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance data** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 106, 39-58.

Huete, A.R., Lieu, H.Q., Batchily, K. and Vanleeuwen, W. (1997). **A comparison of vegetation indices global set of TM images for EOS-MODIS** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 59, 440-451.

Huete, A.R., Didan, K., Miura, T., Rodriguea, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G. (2002). **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 83, 195-213.

Kogan, F.N. (1995). **Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data** [Electronic version]. Bulletin of the American Meteorogical Society, 76(5), 655-668.

_____. (2000). **Satellite-observed sensitivity of world land ecosystems to El Niño /La Niña** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 74, 445-462.

Lawrence, R.L. and Ripple, W.J. (1998). **Comparisons among vegetation Indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 64, 91-102.

Maki, M., Ishiahra, M., and Tamura, M. (2004). **Estimation of leaf water status to monitor the risk of forest fires by using remotely sensed data** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 90, 441-450.

Shakya N. and Yamaguchi Y. (2007). **Drought monitoring using vegetation and LST indices in Nepal and Northeastern India.** ACRS 2007 Proceedings in CD-ROM, (Paper No.285) 12-16 November 2007 Kuala Lumpur, Malaysia.

Sims, D.A. and Gamon, J.A. (2002). **Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 81, 337-354.

Volcani, A., Karnieli. A. and Svoray, T. (2005). **The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years** [Electronic version]. Forest Ecology and Management, 215, 239-250.

Wardlow, B.D., Egbert, S.L., and Kastens, J.H. (2007). **Analysis of time-series MODIS 250 m. vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 108**, 2**90–310.

Waring, R.H., Coops, N.C., Fan, W., and Nightingale, J.M. (2006). **MODIS enhanced vegetation index predicts tree species richness across forested ecoregions in the contiguous U.S.A.** [Electronic version]. Remote Sensing of Environment, 103**,** 218–226.