

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HỒ CHÍ MINH**



**LÊ NGỌC LÃM**

**GIÁM SÁT THAY ĐỔI SỬ DỤNG ĐẤT**  
**TRONG BỐI CẢNH BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TỈNH BẾN TRE**

**Chuyên ngành: Quản lý Tài nguyên và Môi trường**

**Mã số: 9.85.01.01**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ**  
**NGÀNH QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG**

**Tp. Hồ Chí Minh, năm 2024**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HỒ CHÍ MINH**

-----  
**LÊ NGỌC LÂM**

**GIÁM SÁT THAY ĐỔI SỬ DỤNG ĐẤT**  
**TRONG BỐI CẢNH BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TỈNH BẾN TRE**

**Chuyên ngành: Quản lý Tài nguyên và Môi trường**

**Mã số: 9.85.01.01**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ**  
**NGÀNH QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG**

**Cán bộ hướng dẫn: PGS.TS Lê Văn Trung**

**Tp. Hồ Chí Minh, năm 2024**

**LỜI CAM ĐOAN**

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả dưới sự hướng dẫn của PGS.TS. Lê Văn Trung.

Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong luận án này là trung thực và không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào và dưới bất kỳ hình thức nào.

Việc tham khảo các nguồn tài liệu (nếu có) đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo đúng quy định.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày...tháng...năm 2024*

Tác giả luận án

**LÊ NGỌC LÂM**

## LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban giám hiệu, Phòng đào tạo Sau đại học của trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh, đã tạo điều kiện thuận lợi để NCS học tập, nghiên cứu và thực hiện Luận án.

Lời tri ân của tác giả xin gửi tới quý thầy, Khoa Môi trường và Tài nguyên, Khoa Quản lý đất đai và Bất động sản đã hỗ trợ và chia sẻ kinh nghiệm quý báu trong suốt thời gian tham gia học tập và thực hiện các chuyên đề của Luận án.

Đặc biệt, tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới PGS.TS. Lê Văn Trung đã động viên và hướng dẫn tận tình trong suốt thời gian học tập và thực hiện luận án.

Tác giả cũng xin chân thành cảm ơn Ban lãnh đạo Sở Tài nguyên và Môi trường Bến Tre đã tạo điều kiện và cho phép tiếp cận và sử dụng các số liệu trong quá trình thực hiện các chuyên đề. Bên cạnh đó, tác giả gửi lời cảm ơn tới tất cả các bạn đồng nghiệp đã có những chia sẻ và hỗ trợ nhiệt tình trong quá trình học tập, nghiên cứu khoa học và thực hiện các dự án liên quan đến kết quả thực hiện Luận án.

Cuối cùng, tác giả bày tỏ lời cảm ơn gia đình đã tạo những điều kiện tốt nhất, hỗ trợ dưới nhiều hình thức để tác giả hoàn thành nhiệm vụ học tập, phát triển các ý tưởng nghiên cứu và triển khai các công bố khoa học.

Xin chân thành cảm ơn!

Nghiên cứu sinh

**Lê Ngọc Lãm**

## TÓM TẮT

Đất đai là một trong những nguồn tài nguyên quan trọng, đóng vai trò nền tảng trong các hoạt động phát triển kinh tế và xã hội (KT-XH). Đã có nhiều nghiên cứu về mô phỏng biến động đất đai và phân tích xu thế thay đổi sử dụng đất nhằm tìm ra các quy luật thay đổi dựa trên cơ sở điều kiện tự nhiên, tác động của thiên tai và hoạt động nhân sinh,... để tạo ra các giải pháp phù hợp hỗ trợ trong công tác quy hoạch và thực thi chiến lược phát triển bền vững. Bến Tre là một trong các tỉnh thuộc đồng bằng sông Cửu Long chịu ảnh hưởng nặng nề nhất của biến đổi khí hậu (BĐKH) và mực nước biển dâng. Các tác động tiêu cực của BĐKH bao gồm: hạn hán, xâm nhập mặn, ngập lụt, xói mòn bờ sông,... đã ảnh hưởng đến các hoạt động dân sinh và phát triển KT-XH của địa phương.

Để góp phần giám sát đầy đủ và kịp thời về thay đổi sử dụng đất hỗ trợ công tác quản lý và phát triển đất đai bền vững đáp ứng các kịch bản phát triển kinh tế và biến đổi khí hậu của Tỉnh Bến Tre, Luận án đã phân tích được xu thế biến động và các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất cho thấy được tiềm năng chuyển đổi giữa các loại đất qua đó đề xuất giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất dựa trên công nghệ tích hợp GIS (Geographic Information Systems) với Viễn thám RS (Remote Sensing) và dự báo thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu theo mô hình toán: LCM (Land Change Modeler) và MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation).

Luận án đã đánh giá hiện trạng sử dụng đất, phân tích xu thế thay đổi sử dụng đất và các yếu tố tác động giai đoạn 2009 – 2019 cho các huyện ven biển thuộc tỉnh Bến Tre. Ảnh vệ tinh Landsat được áp dụng trong việc xây dựng bản đồ xâm nhập mặn, hạn hán và đánh giá thay đổi sử dụng đất. Bản đồ địa hình, địa chính, bản đồ chuyên đề, số liệu kinh tế xã hội, dữ liệu điều tra thực địa... được xử lý hình thành cơ sở dữ liệu GIS trên nền tảng mã nguồn mở QGIS để tích hợp với mô hình thay đổi sử dụng đất (LCM) và MOLUSCE trong phân tích không gian và lượng hóa mức độ ảnh hưởng từng yếu tố đến thay đổi sử dụng đất. Kết quả đạt được của nghiên cứu đã góp phần hỗ trợ tích cực cho nhà quản lý trong việc phân tích và mô phỏng thay đổi sử dụng đất phục vụ giám sát đất đai dựa vào lịch sử thay đổi và các yếu tố tác động là biểu hiện của BĐKH đến các huyện ven biển tại tỉnh Bến Tre.

Từ kết quả đạt được, Luận Án đã đề xuất các giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu bao gồm: (1) Giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất theo phương án quy hoạch đã được phê duyệt (2) Giải pháp cung cấp thông tin thay đổi sử dụng đất thông qua công cụ WebGIS trên nền tảng mã nguồn mở (3) Giải pháp giám sát hạn hán và xâm nhập mặn bằng công nghệ tích hợp GIS và viễn thám (4) Giải pháp về chuyển đổi cơ cấu cây trồng thích ứng với BĐKH. Các giải pháp đề xuất đã minh chứng tính khả thi và hiệu quả mang lại trong việc giám sát thay đổi sử dụng đất và hỗ trợ định hướng đến năm 2050 cho tỉnh Bến Tre. Kết quả nghiên cứu đã tạo cơ sở khoa học để áp dụng cho các khu vực khác trong khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

## ABSTRACT

Land is a crucial resource that has a significant impact on economic and social development activities. Therefore, many studies have conducted simulations of land changes and analysis of land use trends. The objective is to determine the law of fluctuations based on natural conditions, the impact of natural disasters, and human activities. Since then, the research has come up with solutions in land use planning towards sustainable development. Ben Tre is one of the provinces of the Mekong Delta, most affected by climate change due to sea level rise. The negative impacts of climate change include: saline intrusion, flooding, river erosion, etc., which have affected the local people's activities and socio-economic development of this province.

In order to contribute to providing adequate information on land use changes for managing and developing sustainable land according to the scenarios of socio-economic development and climate change of Ben Tre Province. The thesis proposes a solution in monitoring land use change based on GIS (Geographic Information Systems) with remote sensing RS (Remote Sensing) and forecasting of land use change in the climate change context based on math models: LCM (Land Change Modeler) and MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation)

The thesis has systematized the scientific basis to create solutions in providing information on the current state of land use, thereby analyzing the trend of land use change in the period 2009 - 2019 for Ben Tre province. In this study, Landsat satellite images are applied experimentally in establishing maps of saltwater intrusion and drought as well as evaluating land cover change. In addition, topographic maps, cadastral data, socio-economic... are processed to form a GIS database on the open source QGIS platform. The integration of the above data types with LCM and MOLUSCE models in spatial analysis is aimed at quantifying the influence of each factor on land use change. Based on the history of change and analysis of the main impact factors of climate change, the study has actively contributed to the managers in analyzing and simulating the situation of land use change in coastal districts of Ben Tre province.

From the results, the thesis has proposed solutions to monitor land use change in the context of climate change, including: (1) Monitoring land use changes according to approved land used planning (2) Provides information on land use changes (3) Monitoring drought and saltwater intrusion (4) Transforming the crop structure to adapt to climate change. The proposed solutions have demonstrated their feasibility and effectiveness in monitoring land use changes in Ben Tre province. The research results are a scientific basis for application to other areas in the Mekong Delta .

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
TÓM TẮT.....	iii
MỤC LỤC.....	v
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT.....	viii
DANH MỤC BẢNG.....	xii
DANH MỤC HÌNH.....	xiv
MỞ ĐẦU.....	1
1. Giới thiệu.....	1
2. Mục tiêu.....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.....	2
4. Nội dung nghiên cứu.....	3
5. Phương pháp nghiên cứu.....	3
6. Những luận điểm cần thực hiện của luận án.....	3
7. Những đóng góp mới của luận án.....	4
8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn.....	4
9. Cấu trúc của luận án.....	5
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN.....	6
1.1. Cơ sở lý luận.....	6
1.1.1. Sử dụng đất.....	6
1.1.2. Thay đổi sử dụng đất.....	6
1.1.3. Nguyên nhân thay đổi sử dụng đất.....	8
1.1.4. Biến đổi khí hậu.....	9
1.2. Mô hình dự báo và mô phỏng thay đổi sử dụng đất.....	11
1.2.1. Mô hình thay đổi sử dụng đất LCM (Land Change Modeler).....	12
1.2.2. Mô hình CLUE-S (the Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent):	13
1.2.3. Mô hình thay đổi sử dụng đất CLUMondo.....	13
1.2.4. Mô hình đa tác tử ABM (Agen – Base Model).....	14

1.2.5. Mô hình Markov - CA (Markov – Cellular Automata) .....	15
1.2.6. Mô hình MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation) .....	16
1.3. Viễn thám và Hệ thống thông tin địa lý.....	18
1.3.1. Viễn thám (Remote Sensing).....	18
1.3.2. Hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information Systems - GIS) .....	19
1.3.3. Tích hợp GIS và Viễn thám.....	20
1.4. Tổng quan các nghiên cứu có liên quan .....	21
1.4.1. Nghiên cứu trên thế giới .....	21
1.4.2. Nghiên cứu tại Việt Nam.....	25
1.4.3. Đánh giá chung .....	30
1.5. Tổng quan vùng nghiên cứu .....	32
1.5.1. Địa hình .....	33
1.5.2. Khí hậu.....	33
1.5.3. Thủy hải văn .....	34
1.5.4. Tài nguyên thiên nhiên .....	35
CHƯƠNG 2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	38
2.1. Dữ liệu và phần mềm sử dụng.....	38
2.1.1. Dữ liệu .....	38
2.1.2. Phần mềm và mô hình sử dụng .....	41
2.1.3. Quy trình xử lý dữ liệu .....	41
2.2. Phương pháp nghiên cứu .....	42
2.2.1. Ứng dụng GIS và Viễn thám .....	43
2.2.2. Ứng dụng mô hình LCM và MOLUSCE .....	45
2.2.3. Phương pháp đánh giá ảnh hưởng các yếu tố tự nhiên đến thay đổi sử dụng đất .....	53
2.2.4. Phương pháp điều tra khảo sát thu thập thông tin .....	59
2.2.5. Phương pháp đánh giá xu thế, mức độ biến đổi các yếu tố khí hậu .....	59
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN .....	64
3.1. Đánh giá hiện trạng sử dụng đất năm 2019 .....	64
3.1.1. Hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp.....	64
3.1.2. Hiện trạng sử dụng đất phi nông nghiệp.....	66



3.2. Đánh giá thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 - 2019 .....	71
3.2.1. Giải đoán ảnh .....	71
3.2.2. Chu chuyển đất đai .....	76
3.2.3. Phân tích thay đổi sử dụng đất.....	86
3.3. Đánh giá các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu giai đoạn 2009 – 2019 các huyện ven biển tỉnh Bến Tre .....	90
3.3.1. Phân cấp giá trị các yếu tố tác động .....	90
3.3.2. Chọn mẫu giá trị các biến độc lập .....	91
3.3.3. Nhiệt độ trung bình.....	93
3.3.4. Lượng mưa trung bình.....	97
3.3.5. Mức độ ngập lụt.....	100
3.3.6. Xâm nhập mặn.....	103
3.3.7. Hạn hán.....	109
3.3.8. Đánh giá tương quan giữa các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất.....	116
3.4. Đánh giá tiềm năng chuyển đổi và kiểm định mô hình.....	122
3.4.1. Xác định chỉ số tiềm năng chuyển đổi (Cramer'S V) .....	122
3.4.2. Đánh giá tiềm năng chuyển đổi giữa các loại đất.....	124
3.4.3. Hiệu chỉnh mô hình .....	126
3.5. Mô phỏng sử dụng đất đến năm 2029, 2039 và 2049 .....	128
3.5.1. Diện tích biến động qua các giai đoạn.....	128
3.5.2. Xu thế thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu.....	132
3.6. Đề xuất giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong điều kiện BĐKH .....	136
3.6.1. Giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất theo phương án quy hoạch.....	137
3.6.2. Giải pháp cung cấp thông tin thay đổi sử dụng đất .....	137
3.6.3. Giải pháp giám sát hạn hán và xâm nhập mặn .....	138
3.6.4. Giải pháp chuyển đổi cơ cấu cây trồng thích ứng với BĐKH.....	139
KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ.....	141
Kết luận.....	141
Kiến nghị .....	143
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	145

**DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT**

<b>Từ viết tắt</b>	<b>Tên tiếng Việt</b>	<b>Tên tiếng anh</b>
ABM	Mô hình đa tác tử	Agent-Based Model
ADB	Ngân hàng phát triển Châu Á	Asia Development Bank
AHP	Phân tích thứ bậc	Analytic Hierarchy Process
ANN	Mạng nơ-ron thần kinh nhân tạo	Artificial Neural Network
AR4	Báo cáo lần thứ 4 của IPCC	Fouth Assessment Report
BĐKH	Biến đổi khí hậu	Climate change
BĐSDĐ	Biến động sử dụng đất	Land Use Change
BI	Chỉ số độ sáng	Bright Index
ĐBSCL	Đồng Bằng Sông Cửu Long	Mekong Delta
BTNMT	Bộ Tài Nguyên và Môi Trường	Ministry of Natural Resources and Environment
CA	Mạng tế bào tự động	Cellular Automata
CEP	Chương trình môi trường cốt lõi	Core Environment Program
CLUE-S	Mô hình chuyển đổi sử dụng đất và các tác động của nó ở cấp địa phương	the Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent
CLUMondo	Phiên bản mới nhất của mô hình CLUE-S	
CMI	Chỉ số độ ẩm cây trồng	Crop Moisture Index
CURBA	Mô hình phân tích đô thị và đa dạng sinh học bang California	California Urban and Biodiversity Analysis Model
DEM	Mô hình số độ cao	Digital Elevation Model
EC	Độ dẫn điện của đất	Electrical Conductivity
EVI	Chỉ số thực vật tăng cường	Enhanced Vegetation Index
FAO	Tổ chức lương - nông thế giới	Food and Agriculture Organization
FAR	Báo cáo lần thứ nhất của IPCC	First Assessment Report

<b>Từ viết tắt</b>	<b>Tên tiếng Việt</b>	<b>Tên tiếng anh</b>
GDVI	Chỉ số khác biệt thực vật tổng quát	Generalized Difference Vegetation Index
GIS	Hệ thống thông tin địa lý	Geographic Information Systems
GRASS	Hệ thống hỗ trợ phân tích tài nguyên địa lý	Geographic Resources Analysis Support System
GSM	Hệ thống mô phỏng phát triển	Growth Simulation Model
IKONOS	Vệ tinh IKONOS	IKONOS Satellite
IPCC	Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu	Intergovernmental Panel on Climate Change
IUCN	Liên minh quốc tế bảo tồn tự nhiên và tài nguyên thiên nhiên	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
LAI	Chỉ số diện tích lá	Leaf Area Index
LCM	Mô hình thay đổi đất đai	Land Change Modeler
LR	Hồi quy logistis	Logistic Regression
LST	Chỉ số nhiệt độ bề mặt đất	Land Surface Temperature
LUCAS	Hệ thống phân tích thay đổi sử dụng đất	Land Use Change Analysis System
LULCC	Sử dụng đất/thay đổi lớp phủ mặt đất	Land Use/Land Cover Change
LULC	Sử dụng đất/lớp phủ mặt đất	Land Use/Land Cover
LUMP	Mô hình sử dụng đất	Land Use Modeling Platform
MCA	Phân tích đa tiêu chí	Multi Criteria Analysis
MFF	Rừng ngập mặn cho Tương lai	Mangroves For the Future
MLC	Phân loại cực đại gần nhất	Maximum Likelihood Classification
MLP	Mạng Nơ-ron nhiều lớp	MultiLayer Perceptron
MOLUSCE	Mô hình đánh giá thay đổi sử dụng đất	Modules for Land Use Change Evaluation

<b>Từ viết tắt</b>	<b>Tên tiếng Việt</b>	<b>Tên tiếng anh</b>
NDSI	Chỉ số khác biệt độ mặn	Normalize Difference Salinity Index
NBD	Nước Biển Dâng	Sea level rise
NDVI	Chỉ số phát triển thực vật	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Chỉ số lượng nước trong lá	Normalized Difference Water Index
NIR	Vùng cận hồng ngoại	Near Infra Red
PCA	Phân tích thành phần chính	Principal Component Analysis
PDSI	Chỉ số mức độ nghiêm trọng của hạn hán	Palmer Drought Severity Index
RS	Viễn thám	Remote Sensing
RGB	Tổ hợp màu RGB	Red Green Blue
ROI	Vùng mẫu	Region of Interest
SAR	Báo cáo lần thứ hai của IPCC	Second Assessment Report
SAVI	Chỉ số thực vật có hiệu chỉnh đất	Soil Adjusted Vegetation Index
SI	Chỉ số độ mặn	Salinity Index
SPI	Chỉ số bốc hơi tiêu chuẩn	Standardized Precipitation Index
SPOT	Vệ tinh SPOT	Le Systeme Pour l'Observation de la Terre
SWIR	Vùng hồng ngoại sóng ngắn	Short Wave Infra Red
SWSI	Chỉ số cung cấp nước tiêu chuẩn	Standardized Water Supply Index
TAR	Báo cáo lần thứ ba của IPCC	Third Assessment Report
TIR	Vùng hồng ngoại nhiệt	Thermal Infra Red
TVDI	Chỉ số khô hạn theo quan hệ nhiệt độ - thực vật	Temperature Vegetation Dryness Index
UNEP	Chương trình Môi trường Liên Hiệp Quốc	United Nations Environment Programme

---

<b>Từ viết tắt</b>	<b>Tên tiếng Việt</b>	<b>Tên tiếng anh</b>
VSSI	Chỉ số mặn thực vật	Vegetation Soil Salinity Index
VNMC	Ủy ban sông Mê Kong	Viet Nam National Mekong Committee
WMO	Tổ chức khí tượng thế giới	World Meteorological Organization
XNM	Xâm nhập mặn	Saltwater intrusion

---

**DANH MỤC BẢNG**

Bảng 1.1. Một số phương pháp mô phỏng trên thế giới.....	11
Bảng 1.2. Các nhóm và loại đất ở tỉnh Bến Tre .....	36
Bảng 2.1. Nguồn tài liệu sử dụng .....	40
Bảng 2.2. Thông tin ảnh Landsat sử dụng trong nghiên cứu .....	40
Bảng 2.3. Xây dựng bộ dữ liệu mẫu trong phân loại thành lập bản đồ.....	44
Bảng 2.4. Công thức tính chỉ số độ mặn dựa trên các kênh phổ ảnh Landsat 8 OLI.....	55
Bảng 2.5. Các chỉ số vật lý khác .....	56
Bảng 2.6. Phân cấp độ mặn trong đất theo EC (dS/m).....	56
Bảng 2.7. Phân cấp chỉ số khô hạn TVDI .....	57
Bảng 3.1. Hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp năm 2019 .....	64
Bảng 3.2. Hiện trạng sử dụng đất phi nông nghiệp năm 2019 .....	67
Bảng 3.3. Số lượng điểm mẫu phân theo loại hình SĐĐ .....	73
Bảng 3.4. Ma trận sai số phân loại ảnh Landsat 2009.....	74
Bảng 3.5. Ma trận sai số phân loại ảnh Landsat 2019 .....	74
Bảng 3.6. Gom nhóm các loại đất .....	75
Bảng 3.7. Chu chuyển các loại đất giai đoạn 2009 - 2019 .....	78
Bảng 3.8. Phân cấp các biến độc lập trong mô hình hồi quy .....	90
Bảng 3.9. Phân cấp độ mặn trong đất theo EC (dS/m).....	103
Bảng 3.10. Khảo sát tương quan phản xạ phổ với giá trị EC .....	106
Bảng 3.11. Khảo sát tương quan phản xạ phổ với giá trị EC .....	107
Bảng 3.12. Phân cấp chỉ số khô hạn TVDI .....	110
Bảng 3.13. Thống kê diện tích khô hạn năm 2009, 2019.....	115
Bảng 3.14. Phân bố điểm mẫu theo loại đất.....	117
Bảng 3.15. Kết quả phân tích các hệ số.....	118
Bảng 3.16. Phân loại biến động.....	118
Bảng 3.17. Các biến trong mô hình hồi quy.....	118
Bảng 3.18. Kết quả kiểm tra đa cộng tuyến: .....	119

Bảng 3.19. Phân loại biến động.....	120
Bảng 3.20. Các biến trong mô hình hồi quy.....	120
Bảng 3.21. Tương quan Pearson giữa các biến giải thích.....	122
Bảng 3.22. Chỉ số Cramer'S V của các loại đất.....	122
Bảng 3.23. Đánh giá độ chính xác.....	125
Bảng 3.24. Đánh giá độ chính xác qua các giai đoạn.....	127
Bảng 3.25. Mô phỏng diện tích sử dụng đất đến năm 2049.....	129

## DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1. Cấu trúc mô hình CLUMondo.....	14
Hình 1.2. Mô hình đa tác tử.....	15
Hình 1.3. Các công đoạn của viễn thám	18
Hình 1.4 Các đường cong phổ.....	18
Hình 1.5. Các thành phần và dữ liệu GIS.....	19
Hình 1.6. Thay đổi sử dụng đất tại đô thị.....	22
Hình 1.7. Mô hình thay đổi sử dụng đất được xây dựng trên GAMA.....	29
Hình 1.8. Sơ đồ vị trí vùng nghiên cứu.....	32
Hình 2.1. Minh họa CSDL nền địa hình Nguồn: Thông tư 15/2020/TT-BTNMT.....	38
Hình 2.2. Quy trình xử lý dữ liệu.....	42
Hình 2.3. Quy trình thành lập bản đồ sử dụng đất.....	44
Hình 2.4. Sơ đồ quy trình ứng dụng mô hình thay đổi sử dụng đất (LCM).....	47
Hình 2.5. Cấu trúc mô hình MOLUSCE.....	48
Hình 2.6. Mạng thần kinh nhân tạo (ANN) dựa trên cấu trúc mô hình CA.....	50
Hình 2.7. Tiến trình thực hiện.....	51
Hình 2.8. Cấu trúc ANN trong dự báo thay đổi sử dụng đất.....	52
Hình 2.9. Quy trình lượng hóa mức độ ảnh hưởng của các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất.....	53
Hình 2.10. Mô hình hồi quy Logistic.....	59
Hình 2.11. Khung phương pháp luận nghiên cứu.....	62
Hình 3.1. Sơ đồ điểm mẫu 2009	73
Hình 3.2. Sơ đồ điểm mẫu 2019.....	73
Hình 3.3. Bản đồ sử dụng đất qua các năm 1999, 2009, 2019.....	76
Hình 3.4. Chuyển đất thủy sản sang đất trồng lúa tại huyện Ba Tri.....	77
Hình 3.5. Phân tích biến động giai đoạn 2009 – 2019.....	78
Hình 3.6. Thay đổi sử dụng đất trồng lúa 2009 - 2019.....	79
Hình 3.7. Chuyển đất lúa sang đất trồng cây lâu năm và dân cư xây dựng tại huyện Ba Tri năm 2009-2019.....	80
Hình 3.8. Thay đổi sử dụng đất trồng cây lâu năm 2009 - 2019.....	81
Hình 3.9. Thay đổi sử dụng đất thủy sản năm 2009 – 2019.....	82



Hình 3.10. Thay đổi sử dụng đất dân cư – xây dựng giai đoạn 2009 – 2019.....	83
Hình 3.11. Thay đổi sử dụng đất rừng giai đoạn 2009 – 2019.....	84
Hình 3.12. Thay đổi sử dụng đất trồng giai đoạn 2009 – 2019.....	85
Hình 3.13. Thay đổi sử dụng đất thủy hệ giai đoạn 2009 – 2019.....	86
Hình 3.14. Biến động diện tích các loại đất giai đoạn 1999-2009-2019.....	87
Hình 3.15. Bản đồ thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 - 2019.....	88
Hình 3.16. Sơ đồ chọn mẫu các biến độc lập.....	92
Hình 3.17. Nhiệt độ trung bình năm trạm Ba Tri.....	94
Hình 3.18. Xu thế biến đổi nhiệt độ trạm Ba Tri.....	95
Hình 3.19. Nhiệt độ trung bình năm.....	96
Hình 3.20. Lượng mưa trung bình tháng tại Trạm Ba Tri.....	97
Hình 3.21. Xu thế biến đổi lượng mưa tại Trạm Ba Tri.....	98
Hình 3.22. Lượng mưa trung bình.....	99
Hình 3.23. Xu thế biến đổi mực nước trung bình.....	100
Hình 3.24. Bản đồ mức độ ngập lụt.....	102
Hình 3.25. Sơ đồ phân bố điểm mẫu.....	105
Hình 3.26. Ảnh các chỉ số độ mặn.....	106
Hình 3.27. Đồ thị phân bố điểm mẫu tương ứng với các chỉ số độ mặn:.....	107
Hình 3.28. Bản đồ phân bố độ mặn đất (EC) năm 2009 và năm 2019.....	108
Hình 3.29. Bản đồ biến động độ mặn đất giai đoạn 2009 - 2019.....	109
Hình 3.30. Bản đồ Nhiệt độ - Thực vật.....	112
Hình 3.31. Tương quan giữa nhiệt độ (LST) và thực vật (NDVI).....	113
Hình 3.32. Bản đồ khô hạn năm 2009, 2019 theo chỉ số TVDI.....	114
Hình 3.33. Bản đồ khô hạn năm 2009, 2019.....	115
Hình 3.34. Các biến trong mô hình hồi quy Logistic.....	117
Hình 3.35. Xu hướng chuyển đổi từ đất lúa sang các loại đất khác.....	123
Hình 3.36. Mô hình mạng Nơ-ron thần kinh.....	124
Hình 3.37. Bản đồ tiềm năng chuyển đổi đất đai.....	125
Hình 3.38. Bản đồ hiện trạng SDD năm 2019 (A) Bản đồ mô phỏng SDD năm 2019 (B)	127

Hình 3.39. Bản đồ kiểm định độ chính xác mô hình mô phỏng.....	128
Hình 3.40. Bản đồ sử dụng đất năm 2019 (A) và mô phỏng đến năm 2029 (B) năm 2039 (C) và năm 2049 (D).....	130
Hình 3.41. Diện tích mô phỏng các loại đất qua các giai đoạn.....	131
Hình 3.42. Bản đồ xâm nhập mặn cao nhất trong thời kỳ 2050 theo kịch bản RCP 4.5.....	133
Hình 3.43. Tỷ lệ diện tích nguy cơ ngập do triều cao nhất theo kịch bản RCP 4.5 năm 2050 .....	135
Hình 3.44. Bản đồ tính toán nguy cơ ngập do triều cường đến năm 2050.....	135
Hình 3.45. Xu thế thay đổi sử dụng đất trong điều kiện biến đổi khí hậu .....	136

## MỞ ĐẦU

### 1. Giới thiệu

Đất đai là một trong những nguồn tài nguyên quan trọng, đóng vai trò nền tảng trong các hoạt động phát triển kinh tế và xã hội. Đã có nhiều nghiên cứu về giải pháp phân tích xu thế thay đổi sử dụng đất,... nhằm tìm ra các quy luật thay đổi dựa sự tác động qua lại và ảnh hưởng lẫn nhau giữa các yếu tố tự nhiên - môi trường - và xã hội ở các phạm vi không gian và thời gian khác nhau. Trên cơ sở điều kiện tự nhiên, tác động của BĐKH và hoạt động phát triển KT-XH,... nhiều mô hình toán được đề xuất để dự báo sự thay đổi sử dụng đất trong tương lai nhằm đáp ứng nhu cầu cấp thiết sự hiểu biết về quy mô, mô hình và loại hình sử dụng đất và những thay đổi về lớp phủ mặt đất, từ đó tạo ra các giải pháp phù hợp hỗ trợ trong công tác quy hoạch và thực thi chiến lược phát triển bền vững tại nhiều quốc gia. Đặc biệt, các chương trình nghiên cứu sử dụng đất ở quy mô toàn cầu đã cho thấy xu thế mất đa dạng sinh học và tài nguyên đất có liên quan chặt chẽ đến những thay đổi sử dụng đất và lớp phủ mặt đất (LULC). Thay đổi lớp phủ mặt đất (Land cover changes) bao gồm các thay đổi dài hạn (Long term changes) thường là do các nguyên nhân tự nhiên trong khi thay đổi sử dụng đất (Land use changes) thì do những hoạt động phát triển kinh tế ngày càng gia tăng của con người. Sự tăng lên của nhiệt độ trung bình toàn cầu đã tác động tiêu cực và ngày càng nghiêm trọng đến môi trường tự nhiên, kinh tế - xã hội và cũng là nguyên nhân dẫn đến sự dâng mực nước biển gây ngập cho nhiều vùng đất thấp và gia tăng mức độ xâm nhập mặn hưởng đến việc sử dụng và quản lý tài nguyên đất. Các nghiên cứu về sử dụng đất và thay đổi sử dụng đất rất đa dạng trong đó nhiều nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất đã được công bố. Tuy nhiên các nghiên cứu chỉ dừng lại ở việc liệt kê các yếu tố tác động. Việc lượng hóa mức độ tác động của từng yếu tố đến thay đổi sử dụng đất còn hạn chế.

Trong quản lý đất đai, một trong những đối tượng quản lý chính là thửa đất và các loại hình sử dụng đất tương ứng với những thuộc tính đặc thù vốn có của nó bao gồm đặc tính hình học thể hiện vị trí, hình dạng, kích thước cũng như mối quan hệ không gian của nó và đặc tính phi hình học thể hiện các thuộc tính về chất lượng và mối quan hệ với chủ sử dụng đất. Sử dụng đất luôn thay đổi dẫn đến nhu cầu giám sát mang tính cấp thiết hơn bao giờ hết đặc biệt trong điều kiện biến đổi khí hậu. Những vấn đề đặt ra đối với giám sát thay đổi sử dụng đất trong điều kiện biến đổi khí hậu đến từ các yêu cầu đề: (i) phát hiện lượng hóa các thay đổi từ các biến động (ii) theo dõi những thay đổi nhanh chóng và đột ngột (iii) đánh giá khác biệt giữa các năm với các xu hướng khác nhau (iv) thống kê ước tính thay đổi có được từ dữ liệu viễn thám ở các độ phân giải không gian khác nhau. Tầm quan trọng của việc mô tả, định lượng và giám sát những thay đổi lớp phủ mặt đất và sử dụng đất thông qua kỹ thuật xử lý ảnh viễn thám kết hợp với dữ liệu GIS đã minh chứng là giải pháp đem lại hiệu quả cao và đã được công nhận rộng rãi bởi các nghiên cứu về sử dụng đất toàn cầu.

Bến Tre là một trong những tỉnh chịu tác động mạnh của BĐKH và nước biển dâng (NBD) ở khu vực Đồng bằng sông cử long (ĐBSCL). Theo kịch bản BĐKH tỉnh Bến Tre năm 2020 cho thấy từ năm 2010 - 2020, các tác động tiêu cực của BĐKH bao gồm: khô hạn, xâm nhập mặn, ngập lụt, xói mòn bờ sông... đã ảnh hưởng đến các hoạt động dân sinh và phát triển KT-XH của địa phương, đặc biệt dẫn đến thay đổi nhanh các loại hình sử dụng đất điển hình tại 3 huyện vùng duyên hải. Tuy nhiên đến nay, Tỉnh Bến Tre vẫn chưa có giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất phù hợp thay cho phương pháp truyền thống (kiểm kê, thống kê đất đai theo đơn vị hành chính theo định kỳ 5 năm một lần) nhằm phân tích xu thế thay đổi sử dụng đất một cách hợp lý và điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất trên cơ sở khoa học về tác động của BĐKH và ứng dụng công nghệ mới trong dự báo và mô phỏng thay đổi sử dụng đất.

Xuất phát từ thực tiễn trên, đề tài nghiên cứu “Giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại tỉnh Bến Tre” được triển khai nhằm góp phần cung cấp thông tin về thay đổi sử dụng đất dựa trên công nghệ tích hợp GIS (Geographic Information Systems) với Viễn thám RS (Remote Sensing) và dự báo thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu theo mô hình toán hỗ trợ công tác quản lý đất đai.

## 2. Mục tiêu

### 2.1. Mục tiêu tổng quát

Giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre nhằm trợ công tác quản lý quy hoạch kế hoạch sử dụng đất.

### 2.2 Mục tiêu cụ thể

- Đánh giá thay đổi sử dụng đất thông qua chu chuyển đất đai và các yếu tố tác động trong bối cảnh biến đổi khí hậu nhằm cung cấp thông tin thay đổi sử dụng đất trong quá khứ.
- Mô phỏng thay đổi sử dụng đất dựa trên biến động và các yếu tố tác động trong bối cảnh biến đổi khí hậu nhằm cung cấp thông tin thay đổi sử dụng đất trong tương lai.
- Đề xuất các giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

## 3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- **Đối tượng nghiên cứu:** Đối tượng nghiên cứu chính là các loại hình sử dụng đất tại các huyện ven biển của tỉnh Bến Tre qua các thời kỳ: 2009, 2019; Các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất.
- **Phạm vi nghiên cứu:** Phạm vi không gian bao gồm 3 huyện ven biển của Tỉnh Bến Tre (Huyện Ba Tri, Huyện Bình Đại và Huyện Thạnh Phú) nơi chịu tác động chủ yếu

của biến đổi khí hậu. Phạm vi thời gian nghiên cứu các đối tượng trên trong giai đoạn 2009 – 2019. Các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất được chọn là các yếu tố tự nhiên là biểu hiện của biến đổi khí hậu.

#### **4. Nội dung nghiên cứu**

Để đạt được mục tiêu đặt ra, Luận án đã thực hiện các nội dung nghiên cứu như sau:

- Đánh giá đặc điểm kinh tế - xã hội và hiện trạng sử dụng đất của Tỉnh Bến Tre.
- Đánh giá thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 - 2019
- Đánh giá các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu giai đoạn 2009 – 2019
- Đánh giá tiềm năng chuyển đổi giữa các loại đất
- Mô phỏng sử dụng đất đến năm 2029, 2039 và 2049
- Đề xuất giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong điều kiện BĐKH

#### **5. Phương pháp nghiên cứu**

Luận án sử dụng các phương pháp nghiên cứu chính như sau:

- Phương pháp phân tích - tổng hợp các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước, thông qua các báo cáo khoa học, báo cáo đánh giá hiện trạng sử dụng đất của các cơ quan chuyên môn và định hướng phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh Bến Tre;
- Phương pháp điều tra thu thập số liệu: thu thập các tài liệu và dữ liệu vùng mẫu hỗ trợ công tác xử lý và phân loại ảnh vệ tinh. Khảo sát bổ sung sự ảnh hưởng trực tiếp của các tác động tự nhiên và BĐKH đến các hoạt động kinh tế, xã hội và môi trường;
- Phương pháp xử lý ảnh viễn thám: áp dụng trong phân loại ảnh viễn thám Landsat, nhằm phân tích và đánh giá thay đổi sử dụng đất qua các thời kỳ;
- Phương pháp phân tích thống kê: áp dụng trong phân tích, đánh giá hiện trạng và lịch sử thay đổi sử dụng đất, phân tích hồi quy để xác định mối tương quan giữa các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất.
- Phương pháp ứng dụng mô hình toán: Ứng dụng các mô hình để phân tích và mô phỏng thay đổi sử dụng đất;
- Phương pháp tham vấn chuyên gia: tham vấn ý kiến chuyên gia đa ngành để xem xét và giải quyết bài toán tổng hợp trong đề xuất giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

#### **6. Những luận điểm cần thực hiện của luận án**

- Cơ sở khoa học trong việc xác định xu thế thay đổi sử dụng đất, nguyên nhân và các yếu tố tác động ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh BĐKH.

- Hiểu biết về mối quan hệ giữa thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu là cần thiết để quản lý đất đai một cách hiệu quả trên quy mô khu vực và toàn cầu.
- Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian GIS về thay đổi sử dụng đất và các yếu tố tác động. Từ đó cập nhật dữ liệu và phân tích xu thế thay đổi sử dụng đất theo không gian và thời gian dựa trên ảnh viễn thám (RS) và bản đồ làm cơ sở để tiến hành lượng hóa các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất.
- Ứng dụng mô hình toán phù hợp trong phân tích, đánh giá và mô phỏng thay đổi sử dụng đất làm cơ sở đề xuất giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

## 7. Những đóng góp mới của luận án

- Luận án đã xác định được mối liên hệ giữa các yếu tố tự nhiên tác động đến thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu dựa trên cơ sở ứng dụng công cụ thống kê không gian và hồi quy logistic nhị phân đa biến.
- Luận án đã mô phỏng lan truyền mặn và chỉ số khô hạn phục vụ đánh giá ảnh hưởng của khô hạn và xâm nhập mặn đến thay đổi sử dụng đất tại tỉnh Bến Tre.
- Luận án đã tích hợp các mô hình LCM-CA-Markov-MOLUSCE mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại tỉnh Bến Tre.

## 8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

### ❖ Ý nghĩa khoa học

- Luận án đã xây dựng công cụ giám sát thay đổi sử dụng đất ở ba khía cạnh: (i) xu thế thay đổi sử dụng đất theo không gian và thời gian; (ii) lượng hóa các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất; và (iii) Công cụ mô phỏng và dự báo thay đổi sử dụng đất theo thời gian trong điều kiện biến đổi khí hậu.
- Ứng dụng các giải pháp công nghệ tích hợp GIS, RS và mô hình toán trong phân tích thay đổi sử dụng đất (LCM) cũng như mô phỏng và đánh giá thay đổi sử dụng đất (MOLUSCE) để hỗ trợ công tác giám sát thay đổi sử dụng đất trong điều kiện biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre.
- Luận án đã xây dựng được quy trình đánh giá mô phỏng lan truyền mặn và khô hạn dựa trên ảnh vệ tinh Landsat bằng phương pháp viễn thám và phân tích hồi quy đã củng cố thêm vào cơ sở khoa học vững chắc trong đánh giá ảnh hưởng của hạn hán và xâm nhập mặn đến thay đổi sử dụng đất.

### ❖ Ý nghĩa thực tiễn

- Ở góc độ đánh giá tác động của biến đổi khí hậu: Nghiên cứu này giúp xác định tác động của biến đổi khí hậu đối với tỉnh Bến Tre, bao gồm các yếu tố như tăng nhiệt độ, thay đổi lượng mưa, mùa mưa, và xâm nhập mặn. Thông qua việc giám sát và phân

tích sự thay đổi sử dụng đất có thể hiểu rõ hơn về các vấn đề môi trường và kinh tế liên quan đến biến đổi khí hậu.

- Khả năng thích ứng và chống chịu: Nghiên cứu này cung cấp thông tin về khả năng thích ứng và chống chịu của tỉnh Bến Tre trước biến đổi khí hậu. Điều này sẽ giúp định hướng cho việc xây dựng các biện pháp và chính sách phù hợp để giảm thiểu tác động tiêu cực và tăng cường khả năng thích ứng của địa phương.
- Kết quả đạt được của luận án đã phân tích được thay đổi sử dụng đất dưới nhiều góc độ khác nhau bao gồm lịch sử thay đổi (thể hiện xu thế chuyển đổi giữa các loại đất), mối tương quan giữa thay đổi sử dụng đất với các yếu tố tác động (yếu tố điều kiện tự nhiên). Sự thay đổi sử dụng đất gây ra sự suy giảm tài nguyên đất và ảnh hưởng đến năng suất nông nghiệp. Bằng cách giám sát và đánh giá các thay đổi này, nghiên cứu có thể cung cấp thông tin quan trọng cho việc quản lý tài nguyên đất hiệu quả và bền vững. Đây là một trong những cơ sở quan trọng cho địa phương trong việc chuyển đổi cơ cấu cây trồng phù hợp.
- Kết quả mô phỏng không chỉ thể hiện diện tích chuyển đổi giữa các loại đất mà còn mô tả được sự phân bố không gian của các loại hình sử dụng đất. Kết quả nghiên cứu này cung cấp thông tin cần thiết để phát triển kế hoạch quy hoạch đô thị và nông thôn trong điều kiện biến đổi khí hậu. Việc hiểu rõ sự thay đổi sử dụng đất và tác động của biến đổi khí hậu sẽ giúp định hình các chiến lược phát triển bền vững và chống chịu. Đây là cơ sở quan trọng trong lập quy hoạch sử dụng đất nói riêng và trong công tác quy hoạch nói chung.
- Từ quy trình tích hợp GIS và RS được xây dựng trong điều kiện của tỉnh Bến Tre kết hợp với tính sẵn có của dữ liệu viễn thám hiện nay (ảnh Landsat, Sentinel) có thể giúp địa phương trong việc phân tích đánh giá ảnh hưởng của hạn hán và xâm nhập mặn đến sử dụng đất nói chung và sử dụng đất nông nghiệp nói riêng.
- Bản đồ tiềm năng chuyển đổi đất đai góp phần cho phép các nhà quản lý xác định nhanh những khu vực dễ bị tác động nhằm điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất phù hợp cho giai đoạn 2020 – 2030 và định hướng đến năm 2050.

## **9. Cấu trúc của luận án**

- Mở đầu
- Chương 1. Tổng quan
- Chương 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu
- Chương 3. Kết quả và thảo luận
- Kết luận và kiến nghị
- Phụ lục danh mục công trình đã công bố
- Tài liệu tham khảo
- Phụ lục

## TỔNG QUAN

### 1.1. Cơ sở lý luận

#### 1.1.1. Sử dụng đất

Đất đai (Land): Hiến pháp Việt Nam năm 2013 đã khẳng định: “Đất đai là tài nguyên đặc biệt của quốc gia, nguồn lực quan trọng phát triển đất nước, được quản lý theo pháp luật”. Theo FAO 1976 “Đất đai bao gồm môi trường vật chất, bao gồm khí hậu, đất đai, thủy văn và thảm thực vật, ở mức độ ảnh hưởng đến tiềm năng sử dụng đất. Nói cách khác, đất đai là một vùng đất có ranh giới, vị trí cụ thể và các thuộc tính tổng hợp của các yếu tố tự nhiên, kinh tế - xã hội như: thổ nhưỡng, khí hậu, địa hình, địa mạo, địa chất, thủy văn, động vật, thực vật và hoạt động sản xuất của con người. Trong đó, đất (Soil) chỉ là phần là lớp trên cùng của bề mặt đất (thổ nhưỡng) có đặc tính và chất lượng khác nhau, tạo ra tiềm năng phát triển của thảm thực vật phù hợp, cũng như được khai thác đáp ứng theo yêu cầu sử dụng đất (Land use) phục vụ các hoạt động của con người. Hiện nay, thuật ngữ sử dụng đất (Land use) và lớp phủ mặt đất (Land cover) được phân biệt rất rõ (Jokar Arsanjani, J, 2012) Trong đó, phân chia theo đặc trưng tự nhiên và vật lý của đối tượng quan sát trên bề mặt đất, thuật ngữ “Land cover” thường được sử dụng để thể hiện lớp phủ mặt đất bao gồm; nước, thực vật, đất trống, các công trình xây dựng nhân tạo (Ellis, 2007) Nếu các đối tượng có liên quan đến sự tác động của con người, theo chức năng, mục đích sử dụng khác nhau, thuật ngữ “Land use” được sử dụng để thể hiện rõ và cụ thể các mục đích sử dụng đất theo hoạt động của con người trên một lớp phủ mặt đất nhất định.

Theo Luật Đất đai 2013, mục đích sử dụng đất được xây dựng dựa theo chức năng và chia thành 3 nhóm lớn: đất nông nghiệp, đất phi nông nghiệp và đất chưa sử dụng. Trong đó, nhóm đất nông nghiệp bao gồm nhiều loại hình sử dụng đất (Land Use Type - LUT) khác nhau theo mục đích sử dụng cụ thể. Tùy thuộc vào đặc tính và chất lượng đất đai (Land Quality - LQ) có khả năng thích hợp cho yêu cầu sử dụng khác nhau trong phát triển kinh tế - xã hội, mỗi địa phương lập quy hoạch sử dụng đất nhằm xác định diện tích tối ưu cho từng loại hình sử dụng đất đáp ứng yêu cầu sử dụng đất (Land Use Requirement – LUR) theo định hướng phát triển bền vững và thích ứng với BĐKH trong tương lai.

#### 1.1.2. Thay đổi sử dụng đất

Thuật ngữ dùng để chỉ sự thay đổi lớp phủ bề mặt đất trên vùng đất của quốc gia và những thay đổi về loại hình sử dụng đất (Land use change) đáp ứng yêu cầu người sử dụng của con người. Đánh giá thay đổi sử dụng đất và các trạng thái đất đai cấp vùng và toàn cầu đóng vai trò nền tảng trong các nghiên cứu biến đổi môi trường và khí hậu (Foley và ctv, 2005). Thay đổi lớp phủ bề mặt đất (Land cover change) mang tính lâu dài và góp phần dẫn đến thay đổi sử dụng đất đai trên thế giới (Suming và ctv, 2013). Thay đổi sử dụng đất liên tục diễn ra như là một quá trình phức hợp bởi những sự tác động qua lại và ảnh hưởng lẫn



nhau giữa các yếu tố tự nhiên - môi trường - và xã hội tại phạm vi của lô thửa đất theo thời gian khác nhau (Valbuena và ctv, 2010).

Thay đổi sử dụng đất hiện nay được hiểu theo hai nghĩa chính bao gồm: Thay đổi sử dụng đất và biến động sử dụng đất. Nếu định nghĩa theo sát thuật ngữ tiếng Việt thì có sự khác nhau nhất định giữa hai thuật ngữ trên thì biến động sử dụng đất theo cách sử dụng của ngành Tài nguyên và Môi trường thì bao gồm cả việc thay đổi về lớp phủ bề mặt hay sử dụng đất và cả thuộc tính phi hình học của thửa đất như chủ sử dụng đất, diện tích. Trong phạm vi nghiên cứu này sử dụng thuật ngữ “Biến động sử dụng đất” theo nghĩa “thay đổi sử dụng đất”.

Biến động sử dụng đất theo Từ điển Khoa học trái đất: "Biến động sử dụng đất được biết như biến động đất đai, đây là một thuật ngữ chung chỉ những thay đổi bề mặt lãnh thổ trái đất xảy ra do tác động của con người". Trong khi những biến động lớp phủ mặt đất như các biến động dài hạn là do các nguyên nhân tự nhiên, thì những hoạt động ngày càng gia tăng của con người đóng vai trò quan trọng dẫn đến thay đổi sử dụng đất đai trên thế giới (Suming và ctv, 2013). Tầm quan trọng của việc mô tả, định lượng, và giám sát những thay đổi sử dụng đất thông qua viễn thám và dữ liệu không gian địa lý như là một thành phần quan trọng của khoa học biến động đất đai đã được công nhận rộng rãi bởi các nghiên cứu về sử dụng đất toàn cầu (Turner và ctv, 2007).

Thay đổi sử dụng đất là sự thay đổi trạng thái tự nhiên của lớp phủ bề mặt đất gây ra bởi hành động của con người, là một hiện tượng phổ biến liên quan đến tăng trưởng dân số, phát triển thị trường, đổi mới công nghệ, kỹ thuật và sự thay đổi thể chế, chính sách. Biến động sử dụng đất có thể gây hậu quả khác nhau đối với tài nguyên thiên nhiên như sự thay đổi thảm thực vật, biến đổi trong đặc tính vật lý của đất, trong quần thể động, thực vật và tác động đến các yếu tố hình thành khí hậu (Muller, D, 2004). Theo đó, thay đổi sử dụng đất có thể chia thành hai loại: Loại thứ nhất là thay đổi từ loại hình sử dụng đất này sang loại hình sử dụng đất khác và loại thứ hai là thay đổi về cường độ sử dụng đất hay mật độ lớp phủ trong cùng một loại hình sử dụng đất.

Như vậy có thể định nghĩa thay đổi sử dụng đất hay thay đổi lớp phủ bề mặt đất là sự thay đổi về trạng thái bề mặt tự nhiên cũng như những tác động của con người cùng với các tác động qua lại giữa các loại hình sử dụng đất hay lớp phủ bề mặt đất. Quá trình này thường được áp dụng với những thay đổi bề mặt trái đất tại hai hay nhiều thời điểm khác nhau. Các nguồn dữ liệu chính của địa lý thường là ở định dạng ảnh viễn thám (ảnh hàng không, ảnh vệ tinh) hoặc định dạng vector (các loại bản đồ). Các dữ liệu phụ trợ khác (lịch sử, kinh tế, ...) cũng có thể được sử dụng trong đánh giá biến động.

### **1.1.3. Nguyên nhân thay đổi sử dụng đất**

Thay đổi sử dụng đất có thể xuất hiện từ các kết quả trực tiếp và gián tiếp của các hoạt động của con người để đảm bảo, củng cố các nguồn tài nguyên thiết yếu. Thay đổi sử dụng đất được biết đến như là một quá trình phức hợp mà được tạo ra bởi những sự tác động qua lại và ảnh hưởng lẫn nhau giữa các yếu tố tự nhiên - môi trường - và xã hội ở các phạm vi không và thời gian khác nhau (Valbuena và ctv, 2010).

#### **Yếu tố tự nhiên**

Địa hình, khí hậu và thổ nhưỡng là các yếu tố quan trọng có ảnh hưởng lớn đến thay đổi sử dụng đất. Khí hậu ảnh hưởng trực tiếp đến đất thể hiện ở lượng nước mưa và nhiệt; ảnh hưởng gián tiếp thông qua sinh vật. biến đổi khí hậu (BĐKH) làm cho lượng dinh dưỡng trong đất bị mất cao hơn, hiện tượng xói mòn, khô hạn nhiều hơn. Đặc biệt, nước biển dâng, thiên tai, bão lũ gia tăng sẽ làm tăng hiện tượng nhiễm mặn, ngập úng, sạt lở bờ sông, bờ biển... dẫn đến ảnh hưởng nghiêm trọng tới tài nguyên đất.

#### **Yếu tố kinh tế - xã hội**

Nhân tố kinh tế - xã hội bao gồm các yếu tố như dân số, lao động; phương thức canh tác; khả năng tiếp cận khoa học, kỹ thuật vào sản xuất; năng lực quản lý, sử dụng đất... Nhân tố kinh tế - xã hội thường có ý nghĩa quyết định, chủ đạo đối với sử dụng đất đai. Phương hướng sử dụng đất được quyết định bởi yêu cầu của xã hội và mục tiêu kinh tế trong từng thời kỳ nhất định. Với điều kiện kinh tế - xã hội khác nhau, có những vùng đất đai được khai thác sử dụng đạt hiệu quả cao, nhưng cũng có những nơi đất đai bị bỏ hoang hóa hoặc khai thác với hiệu quả kinh tế rất thấp...

#### **Yếu tố chính sách**

Các chính sách về đất đai hiện thời, các chính sách khác có liên quan đến sử dụng đất đai và tài nguyên thiên nhiên cũng như các kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội trung và dài hạn vốn thường thay đổi theo chu kỳ từ 5 đến 10 năm đã ảnh hưởng trực tiếp đến sử dụng đất

Việc đánh giá các nguyên nhân đằng sau gây ra thay đổi sử dụng đất là thiết yếu và là yếu tố cần thiết cho các mô hình mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong tương lai. Thay đổi sử dụng đất có thể xảy ra bởi nhiều động cơ, nguyên nhân phức tạp mà các nguyên nhân này kiểm soát một số biến số về tự nhiên, kinh tế, môi trường và xã hội. Những nguyên nhân này có thể bao gồm bất kỳ yếu tố nào mà ảnh hưởng các hoạt động của con người, gồm có văn hóa địa phương, các vấn đề tài chính và kinh tế, các hoàn cảnh, tình trạng môi trường (ví dụ, trạng thái còn xanh, chất lượng đất đai, tình trạng địa hình địa vật, tính sẵn có để sử dụng của nguồn tài nguyên, khả năng tiếp cận vui chơi, giải trí), chính sách đất đai hiện thời và các kế hoạch phát triển, và cũng như những ảnh hưởng lẫn nhau của các yếu tố này. Vì thế, những

tác nhân này phải được tìm ra để đi tìm các biến số kiểm soát và được sử dụng để quản lý thay đổi sử dụng đất đai (Ellis, 2007).

#### **1.1.4. Biến đổi khí hậu**

Khái niệm: Theo Bộ TN&MT (2020) BĐKH là sự thay đổi của khí hậu trong một khoảng thời gian dài do tác động của các điều kiện tự nhiên và hoạt động của con người. BĐKH biểu hiện bởi sự nóng lên toàn cầu, mực nước biển dâng và gia tăng các hiện tượng khí tượng thủy văn cực đoan. Đánh giá tác động tiêu cực của BĐKH đến điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và môi trường sinh thái thường được dựa trên các kịch bản của BĐKH trong tương lai.

Mực nước biển dâng: Nước biển dâng là sự dâng lên của mực nước đại dương trung bình do tác động của biến đổi khí hậu, trong đó không bao gồm triều cường, nước dâng do bão và các tác động tự nhiên khác. Nhiệt độ gia tăng làm nước giãn nở, đồng thời làm tan chảy các sông băng, núi băng và băng lục địa khiến lượng nước bổ sung vào đại dương tăng lên. Dự kiến, nhiệt độ tăng sẽ tiếp tục là nhân tố chủ yếu làm mực nước biển dâng trong thế kỷ tới (A. Kulp và H. Strauss, 2019). Do sự nóng lên toàn cầu và các hiệu ứng khác, mực nước biển gần bờ Việt Nam tăng khoảng từ 1-3 mm/năm (Phạm Văn Huấn và Nguyễn Tài Hối, 2007). Nghiên cứu gần đây cho thấy, xu thế tăng của mực nước biển trung bình dọc bờ biển Việt Nam khoảng 2,8 mm/năm (Bộ TN&MT, 2012). Nghiên cứu từ số liệu vệ tinh cho thấy, mực nước trung bình trên khu vực biển Việt Nam từ năm 1993 đến 2010 tăng khoảng 4,7 mm/năm. Mực nước biển trung bình tại khu vực ven biển Trung Trung Bộ và khu vực ven biển Tây Nam Bộ có xu hướng tăng mạnh hơn các khu vực khác. Mực nước biển trung bình cho toàn dải ven biển Việt Nam tăng khoảng 2,9 mm/năm (Nguyễn Xuân Hiền và ctv, 2010). Do ảnh hưởng của BĐKH, vào cuối thế kỷ 21, mực nước biển dâng trung bình toàn Việt Nam trong khoảng từ 78 cm đến 95 cm với kịch bản phát thải cao A1FI. Trong đó, khu vực có mức dâng cao nhất là từ Cà Mau đến Kiên Giang (85 cm đến 105 cm) và khu vực có mức dâng thấp nhất ở khu vực Móng Cái (66 cm đến 85 cm) (Bộ TN&MT, 2012, Trần Thực và ctv, 2012). Mực nước biển dâng tại các vùng đất thấp dẫn đến hiện tượng xâm nhập mặn đặc biệt đối với khu vực Đồng Bằng Sông Cửu Long. Thực tế, ĐBSCL đang bị các tác động “kép” do cả yếu tố BĐKH và yếu tố đập nước trên sông ở thượng nguồn. Trong tương lai, khi các nước thượng nguồn gia tăng sử dụng nước vào mùa khô cùng với nước biển dâng, tình trạng xâm nhập mặn ở ĐBSCL sẽ càng trầm trọng hơn (Trần Quốc Đạt và ctv, 2011).

Mối quan hệ giữa thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu: Thay đổi sử dụng đất có liên quan đến biến đổi khí hậu vừa là yếu tố nguyên nhân vừa là cách thể hiện chính các tác động của biến đổi khí hậu. Có thể nói đây là mối quan hệ giữa một yếu tố nhân quả, việc sử dụng đất ảnh hưởng đến dòng khối lượng và năng lượng, và khi lớp phủ mặt đất thay đổi, những dòng này cũng thay đổi. Biến đổi khí hậu được dự kiến sẽ tạo ra những thay đổi về lớp phủ mặt đất ở nhiều quy mô không gian và thời gian khác nhau, mặc dù việc sử dụng đất của

con người dự kiến sẽ gây ra nhiều tác động. Các nghiên cứu về mối quan hệ giữa thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu cho thấy rõ ràng rằng (1) trong những thế kỷ gần đây, thay đổi sử dụng đất có tác động lớn hơn nhiều đến các biến đổi sinh thái so với biến đổi khí hậu; (2) phần lớn những thay đổi trong sử dụng đất ít liên quan đến biến đổi khí hậu hoặc thậm chí là khí hậu; và (3) con người sẽ thay đổi cách sử dụng đất, đặc biệt là quản lý đất đai, để thích ứng với biến đổi khí hậu và những sự thích ứng này sẽ có một số tác động sinh thái. Do đó, sự hiểu biết về các nguyên nhân phi khí hậu của thay đổi sử dụng đất (ví dụ: kinh tế xã hội và chính trị) là cần thiết để quản lý các chức năng sinh thái một cách hiệu quả trên quy mô khu vực và toàn cầu (Virginia, 1997).

Những thay đổi do con người gây ra trên bề mặt Trái đất làm thay đổi việc sử dụng đất/lớp phủ đất (LULC). Mặc dù sự biến đổi bề mặt Trái đất do con người gây ra đã tồn tại từ thời xa xưa để hỗ trợ sinh kế cho sự tồn tại liên tục của loài người, nhưng tình trạng thay đổi LULC hiện nay đang ở mức đáng báo động với sự suy thoái hệ sinh thái do dân số ngày càng tăng. Những thay đổi LULC hiện tại được thực hiện một cách không bền vững và do đó gây nguy hiểm tiêu cực cho tương lai. Những thay đổi được đề cập ở trên là những yếu tố đằng sau dẫn đến biến đổi khí hậu cấp địa phương, khu vực và toàn cầu. Các hiện tượng khí hậu khắc nghiệt như lũ lụt, hạn hán, xâm nhập mặn cũng có thể là do LULC (Nyatuame và Agodzo, 2017).

Tác động của biến đổi khí hậu: Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu thường được dựa trên các kịch bản của biến đổi khí hậu trong tương lai và được biểu hiện như là thay đổi về nhiệt độ, lượng mưa, mực nước biển dâng và những thông tin khác. Chúng ta có thể phân tích những thay đổi và xu hướng trong các thông số khí hậu bằng cách sử dụng thông tin và dữ liệu sẵn có. Khi phân tích các tác động của biến đổi khí hậu, điều quan trọng là phải đánh giá được những tác động trực tiếp và hậu quả kinh tế xã hội của biến đổi khí hậu, và xem xét vai trò của các dịch vụ hệ sinh thái và quy mô xã hội của tác động biến đổi khí hậu. Những tác động này có thể còn dẫn đến tác động kinh tế (như suy giảm cơ sở hạ tầng, thay đổi hoặc làm mất doanh thu trong sản xuất nông nghiệp và lâm nghiệp, sản xuất công nghiệp...), các tác động lên các dịch vụ hệ sinh thái (như là nguồn nước ngọt, thay đổi sử dụng đất, chất đốt và lương thực; lụt, ngăn chặn bệnh dịch và các giá trị văn hóa) và các tác động xã hội (bệnh tật, tử vong, giảm năng suất lao động, xung đột về tài nguyên, di dân) (UNEP, 2009).

Các nghiên cứu về tác động của mực nước biển dâng cao thường tập trung vào đánh giá các tác động và sự ứng phó. Khung đánh giá Tính tổn thương và tác động của nước biển dâng đối với vùng ven biển làm nền tảng cho thực hiện diễn giải và so sánh. Mực nước biển dâng, cho dù do nguyên nhân nào thì nó cũng có những tác động như tăng xói lở và ngập lụt. Ngược lại các tác động này lại có những tác động đến kinh tế xã hội gián tiếp tùy thuộc vào sự tiếp xúc của con người trước các thay đổi này trong đó có thay đổi sử dụng đất. Các hệ thống bị tác động đồng thời cũng có những sự phản hồi như sự tự điều chỉnh và thích ứng với

những biến đổi trên. Các vùng ven biển là khu vực bị tác động nhiều nhất khi nước biển dâng vì đây là nơi diễn ra các quá trình tương tác giữa các hệ thống tự nhiên và hệ thống kinh tế xã hội (Nicholls, 2002).

## 1.2. Mô hình dự báo và mô phỏng thay đổi sử dụng đất

Để phân tích và đánh giá thay đổi sử dụng đất (Land Use/Land Cover change - LULCC) theo các yếu tố tác động của BĐKH, các mô hình toán thường được áp dụng nhằm dự báo và mô phỏng quá trình đổi sử dụng đất sẽ xảy ra trong tương lai. Đến nay, 8 phương pháp thường được áp dụng rộng rãi trên thế giới (**Bảng 1.1**).

**Bảng 2.1. Một số phương pháp mô phỏng trên thế giới**

STT	Phương pháp
1	Tiên đoán (Genius forecasting)
2	Ngoại suy xu hướng (Trend extrapolation)
3	Phương pháp chuyên gia (Consensus methods) hay phương pháp đồng thuận
4	Phương pháp mô phỏng hay mô hình hóa (Simulation)
5	Phương pháp ma trận tác động qua lại (Cross-impact matrix method)
6	Phương pháp kịch bản (Scenario)
7	Phương pháp cây quyết định (Decision trees)
8	Phương pháp mô phỏng tổng hợp (Combining methods)

Tùy thuộc vào yêu cầu nâng cao mức độ chính xác của việc dự báo hay mô phỏng, có thể kết hợp nhiều hơn một phương pháp nhằm xây dựng mô hình toán thể hiện đúng bản chất quá trình thay đổi sử dụng đất. Ba dạng mô hình chính đã được phát triển dựa trên nhiều nguyên lý khác nhau: địa lý, kinh tế và các mô hình hệ sinh thái.

- **Mô hình địa lý (Geographical Models):** tập trung vào phân bổ đất đai (Land allocation) dựa trên khả năng thích nghi của các loại hình sử dụng đất và vị trí không gian của các hệ sinh thái và dân số.

- **Mô hình kinh tế (Economic Model):** chú trọng vào nhu cầu và nguồn cung đất đai và các dịch vụ. Mô hình phản ánh một cách có hiệu quả hơn ảnh hưởng có thương mại quốc tế và toàn cầu hóa đến thay đổi sử dụng đất. Tuy nhiên, mô hình kinh tế thường sử dụng các

kịch bản phản ánh tác động của chính sách và các yếu tố kinh tế-xã hội khác đến thay đổi sử dụng đất.

- **Mô hình sinh thái học (Ecological Models):** liên kết phân bố đất đai với các loài phong phú hình thành hệ sinh thái và các vấn đề môi trường khác. Mô hình sinh thái cũng thường cho rằng giá cả và các biến kinh tế là các yếu tố ngoại sinh, do đó không tính toán được đầy đủ các tác động của yếu tố thương mại đến phân bố đất đai.

Nhìn chung, các mô hình đánh giá sự thay đổi của LULC dưới dạng động hoặc tĩnh, phi không gian hoặc không gian, suy diễn hoặc quy nạp, dựa trên mẫu hoặc dựa trên tác nhân (Mishra, 2016 và Zadbagher, 2018). Hiện nay, một số mô hình cụ thể đã được phát triển hoàn chỉnh và áp dụng hiệu quả để dự báo những thay đổi sử dụng đất như sau:

### 1.2.1. Mô hình thay đổi sử dụng đất LCM (Land Change Modeler)

LCM được phát triển bởi phòng thí nghiệm thuộc đại học Clark University, Hoa Kỳ trong khuôn khổ chương trình “Mô hình hóa thay đổi đất đai cho hệ sinh thái bền vững”. LCM được phát triển đầu tiên dưới dạng một phần mềm trong môi trường IDRISI (Phần mềm tổng hợp cả viễn thám và GIS), sau đó được nâng cấp chạy trong môi trường ArcGIS (từ năm 2007) với 5 moduls hỗ trợ khả năng đánh giá, hiệu chỉnh và mô phỏng những thay đổi cảnh quan và sinh thái học bao gồm: (1) Phân tích thay đổi; (2) Tiềm năng chuyển đổi; (3) Mô phỏng thay đổi; (4) Đánh giá và (5) Quy hoạch. LCM cho phép người dùng tạo ra các mô hình thay đổi và mô phỏng dựa trên bộ dữ liệu giữa ít nhất hai thời điểm, nhằm mô phỏng khả năng thay đổi trong tương lai. LCM tạo ra các bản đồ thể hiện sự chuyển đổi giữa các loại hình sử dụng đất thông qua màu sắc của từng loại hình sử dụng đất, nhằm hỗ trợ dự báo và mô phỏng về sự thay đổi giữa các loại hình sử dụng đất như thế nào và diễn ra ở đâu (Pontius et al 2004).

Land Change Modeler (LCM) được sử dụng để phân tích những thay đổi về sử dụng đất và lớp phủ mặt đất giữa các loại hình sử dụng đất trong giai đoạn 1988-2010 của thành phố Muzaffarpur, Ấn Độ. Nghiên cứu này được thực hiện bằng phương pháp mô hình hóa thay đổi sử dụng đất (LCM) dựa trên xu hướng thay đổi sử dụng đất trong quá khứ (từ 1988-2010), việc sử dụng đất trong tương lai, bản đồ mô phỏng thay đổi sử dụng đất đến năm 2025 và 2035 đã được tạo ra. Kết quả cho thấy một số loại hình sử dụng đất sẽ thay đổi đáng kể. Dạng nghiên cứu phân tích và mô phỏng thay đổi sử dụng đất này rất hữu ích cho chiến lược phát triển bền vững của các địa phương (Varun N.M và cộng sự, 2014).

Một trong những phân tích không gian có thể được thực hiện để kiểm tra hiện tượng thay đổi đất đai là mô hình hóa thay đổi sử dụng đất thông qua hệ thống thông tin địa lý và viễn thám (P.A Aryaguna, 2020). Phương pháp được sử dụng là Land Change Modeler của IDRISI. Mô hình này dựa trên dữ liệu che phủ đất năm 2014 và 2018 và một số thông số bổ

sung như dữ liệu đường, DEM và khoảng cách đến đường giao thông. Dựa trên kết quả mô hình từ năm 2014-2018, cho thấy tỉnh Banjarmasin có các thay đổi về đất đai từ đất lúa và đất nông nghiệp khác chuyển sang đất xây dựng. Hầu hết các thay đổi đất đai xảy ra ở trung tâm Banjarmasin. Dựa trên phương pháp Chuỗi Markov bằng cách xem xét những thay đổi về đất đai trong năm trước, 40% đất chưa xây dựng đã trở thành đất xây dựng. Dựa trên mô hình dự đoán sự thay đổi độ che phủ đất bằng phương pháp Markov-Chain, việc phát triển đất xây dựng tại Banjarmasin tập trung ở trung tâm và hướng về phía bắc.

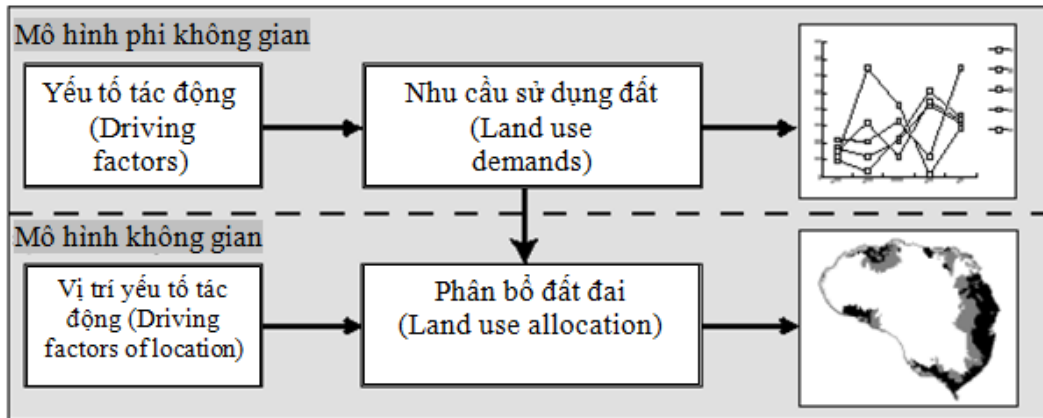
Mô hình Land Change Modeler cho sự bền vững sinh thái là phần mềm tích hợp được phát triển bởi IDRISI Selva để phân tích những thay đổi về độ che phủ đất. Các công cụ mô hình thay đổi độ che phủ đất hỗ trợ phân tích những thay đổi trong sử dụng đất. Việc sử dụng mô hình như vậy cũng giúp hiểu rõ hơn về chức năng của hệ thống sử dụng đất và sự hỗ trợ cần thiết cho việc lập kế hoạch và hoạch định chính sách cho nhà quản lý. Do đó mô hình này có thể dự báo sự thay đổi sử dụng lớp phủ mặt đất trong tương lai theo các kịch bản khác nhau.

### **1.2.2. Mô hình CLUE-S (the Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent):**

Mô hình CLUE-S được xây dựng bởi Verburg, dựa trên mô hình CLUE và dữ liệu địa lý không gian độ phân giải cao, để áp dụng cho việc phân tích chuyển đổi sử dụng đất và các tác động của nó ở cấp địa phương. Mô hình chủ yếu được cấu trúc bởi mô hình thống kê và mô hình thực nghiệm, nhằm tạo nền tảng cho phân bố đất đai cấp địa phương. Hạn chế của CLUE-S là khó thể hiện các đặc điểm phức tạp của cấu trúc đất đai (A.Veldkamp and L. O. Fresco, 1996) cũng như sự phân bố không gian của các thay đổi sử dụng đất (S.Moghadamand, M.Helbich M, 2013). Tuy nhiên, ưu điểm của mô hình CLUE-S là được xây dựng dựa trên nhu cầu sử dụng đất, bao gồm các dữ liệu về dân số, ảnh và các nhu cầu khác. Trên cơ sở nhu cầu kết hợp với các kịch bản được xây dựng trước, các tác nhân gây biến động, những đánh giá về khả năng chuyển đổi, trọng số các yếu tố tác động và hiện trạng sử dụng đất,... để mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất trong tương lai dưới các dạng bản đồ sử dụng đất, vùng biến động, khả năng xói mòn, phát thải cac-bon và đa dạng sinh học.

### **1.2.3. Mô hình thay đổi sử dụng đất CLUMondo**

Mô hình CLUMondo là phiên bản mới nhất của CLUE được phát triển để dự báo và mô phỏng quá trình thay đổi sử dụng đất, dựa trên các phân tích thực nghiệm phù hợp với khu vực, kết hợp với mô phỏng động lực cùng với các tương tác theo không gian và thời gian của hệ thống sử dụng đất. Module phi không gian xác định những thay đổi theo nhu cầu đối với từng cấp độ bao gồm diện tích cho từng mục đích sử dụng cụ thể. Trong module không gian, nhu cầu này được chuyển thành những thay đổi sử dụng đất tại các địa điểm cụ thể cho khu vực nghiên cứu.



**Hình 2.1. Cấu trúc mô hình CLUMondo**

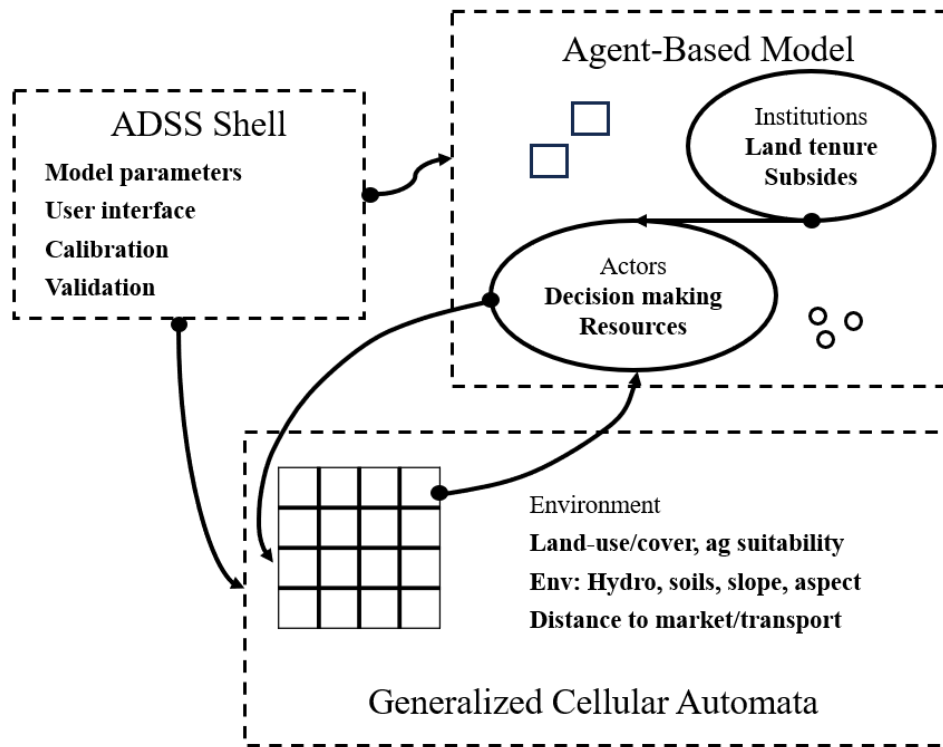
**Hình 1.1.** Thể hiện các bước phân bổ đất đai trong mô hình CLUMondo. Qua đó cho thấy có sự kết hợp giữa mô hình phi không gian và mô hình không gian nhằm xác định nhu cầu sử dụng đất và các yếu tố tác động. Do đó việc xác định vị trí và mức độ tác động của các yếu tố đến sử dụng đất là cần thiết.

#### 1.2.4. Mô hình đa tác tử ABM (Agen – Base Model)

Mô hình ABM đã được ứng dụng nhiều trong thay đổi lớp phủ mặt đất sử dụng đất (Parker D. C., et al., 2001; Mialhe F. et al., 2012) và cũng được ứng dụng xây dựng phương án quy hoạch ở vùng miền núi phía bắc Việt Nam (Castella J. et al., 2005), hoặc mô phỏng sự thay đổi kiểu canh tác trên phạm vi lớn ở Khu vực miền Trung Việt Nam dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh viễn thám (Jepsen M. R. et al., 2006). Các tiến bộ trong mô hình đa tác tử mở ra xu hướng nghiên cứu ứng dụng mô hình hóa các vấn đề phức tạp như Netlogo, Cormas, GAMA,... Trong đó phần mềm GAMA cung cấp nhiều công cụ mạnh trong hỗ trợ lập mô hình đa tác tử trực quan (Taillandier P., 2014) và đặc biệt là khả năng làm việc với các tác tử tạo ra từ dữ liệu GIS với nhiều công cụ xử lý, tính toán trên dữ liệu địa lý (Taillandier P. et al., 2014). Đặc biệt, GAMA khá phù hợp cho việc áp dụng dữ liệu GIS trong công tác quản lý đất đai và nông nghiệp.

Với mỗi mô hình thường có ít nhất một thực nghiệm (experiment) để thực thi mô phỏng. Đối với mô hình này, ngoài một thực nghiệm có giao diện hiển thị bản đồ mô phỏng Simulation\_GUI\_xp còn có 2 thực nghiệm khác là Calibration\_batch cho phép chạy mô phỏng nhiều lần theo giải thuật Genetic để tối ưu hóa bộ tham số của mô hình, thực nghiệm simulation\_avegage dùng chạy mô phỏng nhiều lần lặp lại để tính toán tự động kết quả trung bình các lần mô phỏng.





**Hình 2.2. Mô hình đa tác tử**

**Hình 1.2.** thể hiện mô hình ABM gồm nhiều phần tử tính toán được gọi là các tác tử, có thể hoạt động một cách độc lập, tự quyết định để đáp ứng mục tiêu; cũng có thể giao tiếp với các tác tử khác, nhằm trao đổi dữ liệu và thực thi và đánh giá những chiến lược hoạt động khác nhau của hệ thống (Treuil et al., 2008).

### 1.2.5. Mô hình Markov - CA (Markov – Cellular Automata)

Markov – CA được ứng dụng để xác định khả năng thay đổi các loại hình sử dụng đất dựa trên sự phát triển các nhu cầu sử dụng đất và các nhân tố ảnh hưởng đến sự thay đổi. Mô hình dựa trên phương pháp chuỗi Markov và mô hình tế bào tự động (Cellular Automata - CA) thường được áp dụng trong khu vực có quy mô rộng lớn như cấp vùng, cấp quốc gia kết hợp với dữ liệu GIS (Banos, A. et al., 2015). Mô hình xây dựng theo phương pháp Markov-CA thường được xây dựng trên các phần mềm thương mại như IDRISI (modul CA\_MARKOV) hoặc trên ArcGIS. Ngoài ra, hiện nay cũng có nhiều mô hình được phát triển trên mã nguồn mở với chi phí thấp như: NetLogo, REPASt, CORMAS, GAMA,... Trong đó, GAMA có ưu điểm kết hợp được những điểm mạnh của các hệ nền mô phỏng và làm việc hiệu quả với những dữ liệu phức tạp GIS là các tác tử không gian (Taillandier P., 2014), tạo hệ thống đồ thị mạnh và linh hoạt trên môi trường GIS 2D hoặc 3D (Grignard A. et al., 2013). GAMA có khả năng giải quyết những thách thức lớn liên quan đến lĩnh vực quản lý tài nguyên đất đai có ứng dụng dữ liệu GIS và các xử lý dữ liệu không gian (Trương Chí Quang & tcv, 2014).

Thông thường, mô hình tế bào tự động kết hợp giữa cấu trúc và các chu trình. Cấu trúc ứng với các tế bào và quan hệ liên kề; mỗi tế bào được định nghĩa trong quan hệ với những tế bào xung quanh. Các quy trình thiết lập tình trạng của tế bào. Ví dụ, một tế bào có thể là một loại sử dụng đất như rừng, nước hoặc công trình xây dựng. Các phương trình quá độ cho ta xác suất một tế bào sẽ thay đổi tình trạng – tại thời điểm «T» là rừng, đến thời điểm «T+1» là công trình xây dựng với một xác suất nào đó. Mô hình tế bào tự động được sử dụng rộng rãi vì mô hình loại này cho phép tái biểu diễn các quy trình phức tạp bằng các nguyên tắc đơn giản – mỗi tế bào sẽ làm biến đổi tình trạng của mình một cách năng động tùy thuộc vào tình trạng của các tế bào liên kề. Một trong những ví dụ nổi tiếng trong lĩnh vực “đời sống nhân tạo” có tên gọi “trò chơi cuộc sống” của Conway cho phép tạo ra nhiều hình thái đa dạng (patterns) theo những quy tắc rất đơn giản.

Trong bối cảnh thay đổi sử dụng đất, làm thế nào để giải thích một tế bào sẽ thay đổi tình trạng tại một thời điểm cụ thể? Cách thông thường nhất là căn cứ vào số liệu hay hình ảnh vệ tinh để xây dựng các ma trận thay đổi. Từ việc xếp loại, số lượng các nhóm sử dụng đất là hạn chế. Tiếp đó, ta sẽ định nghĩa các thay đổi (tính động) của các tế bào tùy theo từng thời điểm. Sẽ tạo ra ma trận thay đổi - hàng ngàn tế bào có trạng thái tại một thời điểm cụ thể và ma trận thay đổi sẽ chỉ rõ việc thay đổi trạng thái với xác suất chuyển từ trạng thái rừng sang trạng thái công trình xây dựng. Ta tìm cách giảm các liên kết bằng cách sử dụng mô hình quy tắc dừng/tính (xích Markov). Mô hình này xác định xác suất thay đổi trong một tổng thể rộng lớn. Chúng ta so sánh dự báo của tế bào tại cùng một thời điểm. Khác với mô hình của Von Thunen, mô hình này tập trung chủ yếu vào dữ liệu («Data Driven») và mô hình tạo ra sẽ có khả năng đưa ra các dự báo chính xác trong một số hoàn cảnh cụ thể và trong thời gian ngắn.

### 1.2.6. Mô hình MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation)

Đánh giá thay đổi sử dụng đất trong điều kiện biến đổi khí hậu trong tương lai, thường chịu ảnh hưởng bởi lịch sử thay đổi và các yếu tố tác động. Do đó MOLUSCE là mô hình khá phù hợp để áp dụng trong việc phát triển hệ thống hỗ trợ ra quyết định các vấn đề sử dụng đất trên nền tảng hệ thống thông tin địa lý (GIS). Các chức năng chính bao gồm: Lập bảng phân loại sử dụng đất cho khoảng thời gian A (quá khứ), bảng phân loại sử dụng đất cho thời kỳ B (hiện tại) và bảng phân loại các biến hoặc nhân tố giải thích (yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất); Đào tạo một mô hình dự đoán thay đổi sử dụng đất từ quá khứ đến hiện tại (dùng để kiểm định); Và dự đoán sự thay đổi sử dụng đất trong tương lai bằng cách sử dụng mô hình tiềm năng chuyển đổi, hiện trạng sử dụng đất và các yếu tố hiện tại. MOLUSCE bao gồm một số moduls:

**Cung cấp dữ liệu** - cung cấp các thủ tục để đọc / ghi dữ liệu raster và các chức năng tiện ích tương tự. Mô-đun này cung cấp cấu trúc dữ liệu để lưu trữ nội bộ dữ liệu raster. Nó sử dụng các mảng có mặt nạ numpy làm kho lưu trữ dữ liệu. Nhà cung cấp dữ liệu cung cấp

các phương pháp cho: Tạo và lưu trữ raster (đọc dữ liệu từ tệp và quản lý các giá trị không có dữ liệu, tạo raster mới, tiết kiệm dữ liệu); Truy cập vào dữ liệu và thao tác dữ liệu (Đọc dải raster cụ thể, thay thế một dải bằng mảng pixel mới, nhận thống kê các dải của raster, chuẩn hóa dữ liệu cho thuật toán cụ thể, đọc thông tin liên quan đến hình học và địa lý từ biến raster, v.v.); So sánh các đối tượng dữ liệu địa lý (Kiểm tra kích thước raster, phép chiếu và các đối tượng biến đổi địa lý giữa các raster).

**Lập bảng chéo** - Lập bảng chéo là một mô-đun được sử dụng ở một số nơi của quy trình làm việc. Mục đích chính của mô-đun là tạo các bảng dự phòng. Ví dụ, nó được sử dụng trong quá trình tạo ma trận chuyển tiếp. Trong trường hợp này, phương pháp tính toán thống kê chuyển đổi - có bao nhiêu pixel đã được thay đổi. Kết quả là bảng.

**Lấy mẫu** - Là mô-đun thực hiện quy trình lấy mẫu. Mẫu là một tập hợp dữ liệu đầu vào và dữ liệu đầu ra tương ứng phải được dự đoán thông qua một mô hình.

**Phân tích khu vực** - Mục đích chính của mô-đun phân tích khu vực là tính toán bản đồ thay đổi. Mô-đun sử dụng lược đồ mã hóa chuyển tiếp tiếp theo.

**Mô hình hóa** - Người dùng có một số yếu tố, raster trạng thái init và raster trạng thái cuối cùng. Mục tiêu của giai đoạn mô hình hóa là tạo ra một mô hình có thể dự đoán sự thay đổi sử dụng đất giữa các trạng thái đó. Trước khi thảo luận về các phương pháp dự đoán, chúng ta cần giải thích giai đoạn chuẩn bị chung. Phần phụ đầu tiên của phần này thảo luận về các loại dữ liệu đầu vào và đầu ra và các thao tác cần thiết với dữ liệu, các phần phụ tiếp theo mô tả việc thực hiện cụ thể các mô hình dự đoán

**Mô phỏng** - Thực hiện quy trình đánh giá biến động sử dụng đất. Nó cần nhập dữ liệu tiếp theo bao gồm: Trạng thái ban đầu raster; Nhân tố raster; Mô hình. Bảng raster trạng thái ban đầu chứa thông tin về các loại sử dụng đất hiện tại, bảng nhân tố chứa thông tin về các biến giải thích. Mô hình là một công cụ dự báo tính toán các tiềm năng chuyển đổi trong điều kiện của các yếu tố và sử dụng đất hiện tại. Vì vậy, mô-đun không sử dụng các quy tắc chuyển đổi ngầm định, nó sử dụng các điện thế chuyển đổi được tạo ra bởi các mô hình. Hiệu ứng lân cận đạt được nếu một mô hình sử dụng vùng lân cận trong quá trình đào tạo, ví dụ hồi quy logistic có hệ số cho mọi hàng xóm và hệ số ảnh hưởng đến tiềm năng chuyển đổi. Nếu mô hình không sử dụng vùng lân cận, Trình mô phỏng chỉ tính đến các mẫu chung

**Xác thực (kiểm định)** - Mô-đun xác thực cho phép kiểm tra độ chính xác của mô phỏng. MOLUSCE có ba loại xác nhận: Kappa thống kê; Lỗi xác thực bản đồ.

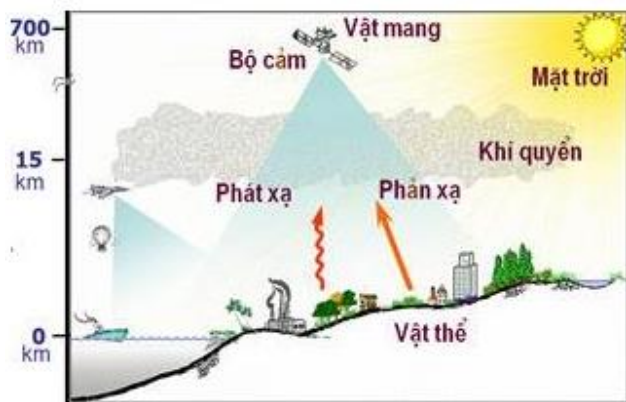
Mô hình đánh giá thay đổi sử dụng đất MOLUSCE được phát triển dưới dạng những mô-đun được tích hợp bởi các thuật toán với QGIS (phần mềm GIS mã nguồn mở) nhằm để phân tích và mô phỏng các thay đổi sử dụng đất / lớp phủ (LULC) trong đô thị cũng như lâm nghiệp. MOLUSCE rất thích hợp để phân tích sự thay đổi sử dụng đất giữa các khoảng thời

gian khác nhau, sử dụng các mẫu loại hình sử dụng đất / tiềm năng chuyển đổi lớp phủ hoặc các khu vực có nguy cơ thay đổi và mô phỏng việc sử dụng đất trong tương lai (Alghaliya, 2017). Sử dụng mô hình MOLUSCE để dự báo LULC mang lại cả lợi ích và hạn chế. Các lợi ích bao gồm dự đoán tốt hơn so với các mô hình khác và việc sử dụng mô hình dựa trên dữ liệu cho phép mô phỏng các tình huống khác nhau bằng cách thay đổi các tham số đầu vào. Mặt khác, những hạn chế bao gồm nhu cầu về lượng dữ liệu lớn, kết quả nhạy cảm với các tham số đầu vào và trình độ chuyên môn kỹ thuật cao. Xu hướng sử dụng đất trong tương lai có thể được dự đoán bằng mô hình MOLUSCE, mô hình này cũng có thể giúp các nhà quy hoạch và chính trị gia đưa ra quyết định sáng suốt. Cách tiếp cận này có thể hỗ trợ xác định những địa điểm thích hợp để bảo tồn, nông nghiệp hoặc phát triển (Md.Y.Islam, 2023).

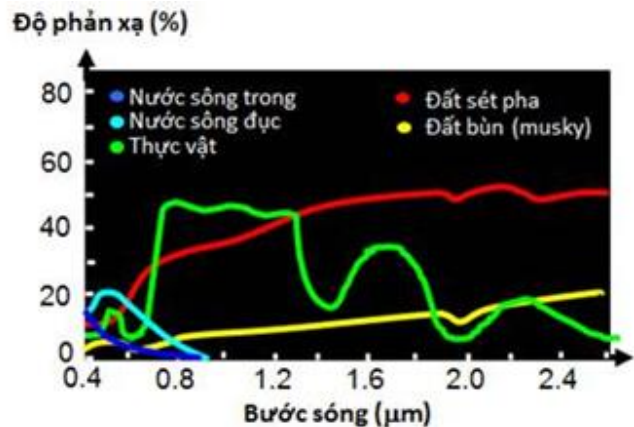
### 1.3. Viễn thám và Hệ thống thông tin địa lý

#### 1.3.1. Viễn thám (Remote Sensing)

Viễn thám là một khoa học công nghệ giúp thu thập thông tin về các đối tượng trên bề mặt trái đất mà không cần tiếp xúc trực tiếp với chúng. **Hình 1.4** thể hiện các công đoạn của Viễn thám. Nguyên lý cơ bản của viễn thám đó là đặc trưng phản xạ hay bức xạ của các đối tượng tự nhiên tương ứng với từng dải phổ khác nhau. Công nghệ Viễn thám được áp dụng khá phổ biến trong việc giám sát và thu thập thông tin về thay đổi lớp phủ bề mặt đất (Land cover change) và những thay đổi về loại hình sử dụng đất (Land use change).



**Hình 2.3. Các công đoạn của viễn thám**



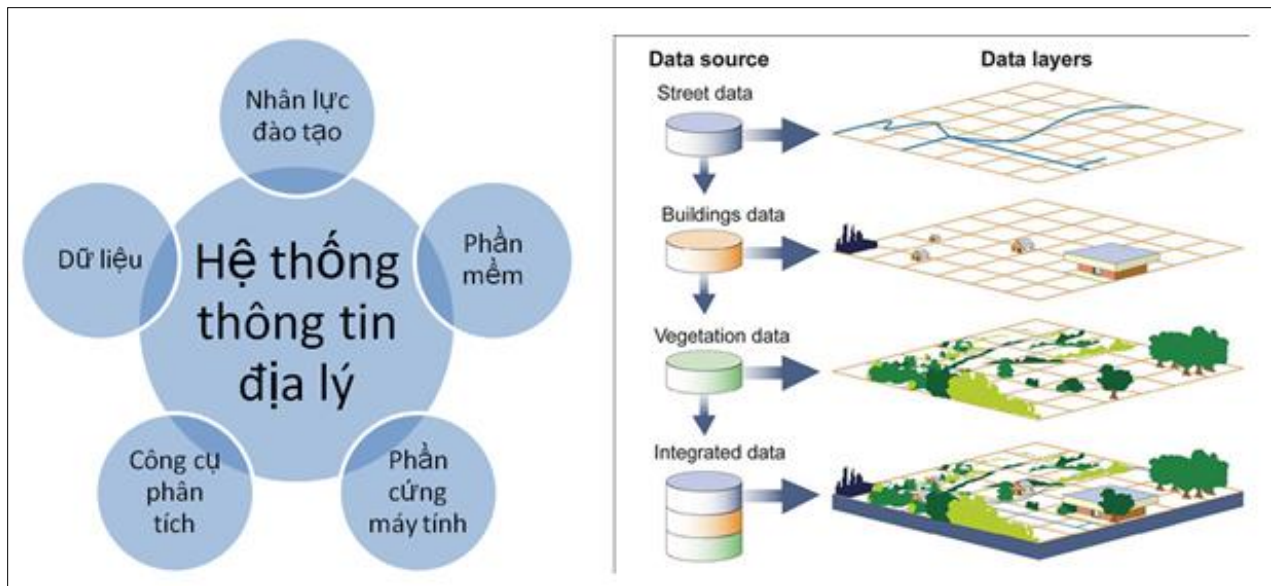
**Hình 2.4 Các đường cong phổ**

Ảnh viễn thám được tạo ra bởi các cảm biến (sensor) được đặt trên UAV (Unmanned Aerial Vehicle) máy bay hay vệ tinh,... cho phép phân tích sự thay đổi độ che phủ mặt đất liên quan đến hạn hán, cháy rừng, lũ lụt và các hoạt động nhân tạo như đô thị hóa, mở rộng canh tác nông nghiệp được giải đoán thông qua các đường cong phổ (**Hình 1.5**). Công nghệ viễn thám đã trở thành phương tiện chủ đạo cho công tác giám sát tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Thông tin được cập nhật có vai trò quan trọng để xây dựng các chính sách phát

triển kinh tế - xã hội, cũng như cung cấp dữ liệu cho các ứng dụng quản lý đất đai và môi trường.

### 1.3.2. Hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information Systems - GIS)

Hệ thống thông tin địa lý (GIS) là một hệ thống cho phép thu thập, lưu trữ, truy vấn, phân tích và hiển thị dữ liệu không gian và đã được ứng dụng rất phổ biến trong quản lý các vấn đề về tài nguyên và môi trường. Các thành phần của một hệ GIS được thể hiện trong **Hình 1.6**. Ứng dụng GIS trong phân tích thay đổi loại hình sử dụng đất; đánh giá đất đai và lập bản đồ vùng đất thích nghi cho cây trồng hay tiềm năng xói mòn,... được biết đến như là công nghệ hữu hiệu trong phân tích và đánh giá theo từng đơn vị đất đai trong điều kiện BĐKH, nhằm hỗ trợ các nhà quản lý ra quyết định hợp lý phục vụ chiến lược phát triển kinh tế xã hội bền vững.



**Hình 2.5. Các thành phần và dữ liệu GIS**

Hiện nay, tích hợp GIS, RS và mô hình toán là một xu hướng mới trong giám sát, phân tích và đánh giá tài nguyên đất phục vụ lập kế hoạch phát triển đô thị và quy hoạch sử dụng đất bền vững. Trong đó, GIS có đầy đủ các chức năng của một hệ quản trị cơ sở dữ liệu không gian có thể phân lớp dữ liệu (**Hình 1.6**); ảnh viễn thám với độ phân giải khác nhau được sử dụng trong cập nhật và tạo nguồn dữ liệu hiện thời (real time) nhằm nâng cao độ chính xác trong việc dự báo dựa trên các kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí và áp dụng mô hình mô phỏng. Việc tích hợp nhằm hỗ trợ, quản lý và khai thác dữ liệu không gian tạo ra ưu thế cho từng hệ thống trong ứng dụng vào các lĩnh vực nghiên cứu khác nhau (Qihao, 2010). Nhìn chung, trong xây dựng hệ thống giám sát thay đổi sử dụng đất và lớp phủ bề mặt đất, việc tích hợp GIS, RS và mô hình toán có những ưu điểm: quản lý đầy đủ và đồng bộ dữ liệu;

phân tích xu thế thay đổi trên phạm vi không gian rộng lớn; cung cấp nhanh thông tin các biến đổi của tài nguyên và môi trường trong điều kiện BĐKH.

### 1.3.3. Tích hợp GIS và Viễn thám

Trong thời gian gần đây công nghệ Viễn Thám và GIS đóng vai trò rất quan trọng đối với các ngành đặc biệt là nông lâm ngư nghiệp và quản lý tài nguyên thiên nhiên. GIS từ lâu đã được biết đến như là một công cụ đắc lực trong quản lý giao thông, điện lực, dầu khí đặc biệt là trong quản lý đất đai và môi trường. Để có được một hệ GIS đầy đủ và mạnh thì yêu cầu về nguồn dữ liệu (data) phải thật chính xác và phải luôn được cập nhật mới hoá. Một trong những nguồn dữ liệu đầu vào quan trọng và mang tính thời sự (mới) là nguồn tư liệu ảnh viễn thám (remoted sensed images). Ảnh viễn thám có thể là ảnh vệ tinh (satellite images), ảnh hàng không (aerial images) hoặc các loại ảnh radar. Những thông tin có thể khai thác từ các loại ảnh viễn thám là rất lớn. Tùy theo từng loại vệ tinh và độ phân giải khác nhau mà có thể khai thác cho một mục đích nhất định. Tuy nhiên ngày nay với những phần mềm xử lý ảnh cho phép người sử dụng có thể khai thác nhiều thông tin từ cùng một loại ảnh vệ tinh bằng những thuật toán và mô hình số.

Với đặc điểm là một hệ thống thông tin có đầy đủ các chức năng của một hệ quản trị cơ sở dữ liệu không gian, GIS có thể sử dụng dữ liệu viễn thám như nguồn dữ liệu đầu vào và là nguồn dữ liệu chính của hệ thống. Vì thế việc tích hợp GIS và viễn thám nhằm tận dụng các ưu điểm của mỗi hệ thống và bổ trợ cho nhau là xu hướng tất yếu trong quản lý dữ liệu không gian ứng dụng trong các lĩnh vực nghiên cứu khác nhau (Qihao, 2010). Từ các đặc điểm trên cho thấy việc ứng dụng Viễn thám trong nghiên cứu về sử dụng đất có những ưu điểm sau:

- Độ phủ trùm không gian của tư liệu viễn thám bao gồm các thông tin về tài nguyên, môi trường trên diện tích lớn của trái đất gồm cả những khu vực rất khó đến được như rừng nguyên sinh, đầm lầy và hải đảo;

- Có khả năng giám sát sự biến đổi của tài nguyên, môi trường trái đất do chu kỳ quan trắc lặp và liên tục trên cùng một đối tượng trên mặt đất của các máy thu viễn thám. Khả năng này cho phép công nghệ viễn thám ghi lại được các biến đổi của tài nguyên, môi trường giúp công tác giám sát, kiểm kê tài nguyên thiên nhiên và môi trường;

- Sử dụng các dải phổ đặc biệt khác nhau để quan trắc các đối tượng (ghi nhận đối tượng), nhờ khả năng này mà tư liệu viễn thám được ứng dụng cho nhiều mục đích, trong đó có nghiên cứu về khí hậu, nhiệt độ của trái đất;

- Cung cấp nhanh các tư liệu ảnh số có độ phân giải cao và siêu cao, là dữ liệu cơ bản cho việc thành lập và hiện chỉnh hệ thống bản đồ quốc gia và hệ thống CSDL địa lý quốc gia.

## 1.4. Tổng quan các nghiên cứu có liên quan

### 1.4.1. Nghiên cứu trên thế giới

#### ❖ Nghiên cứu về thay đổi sử dụng đất

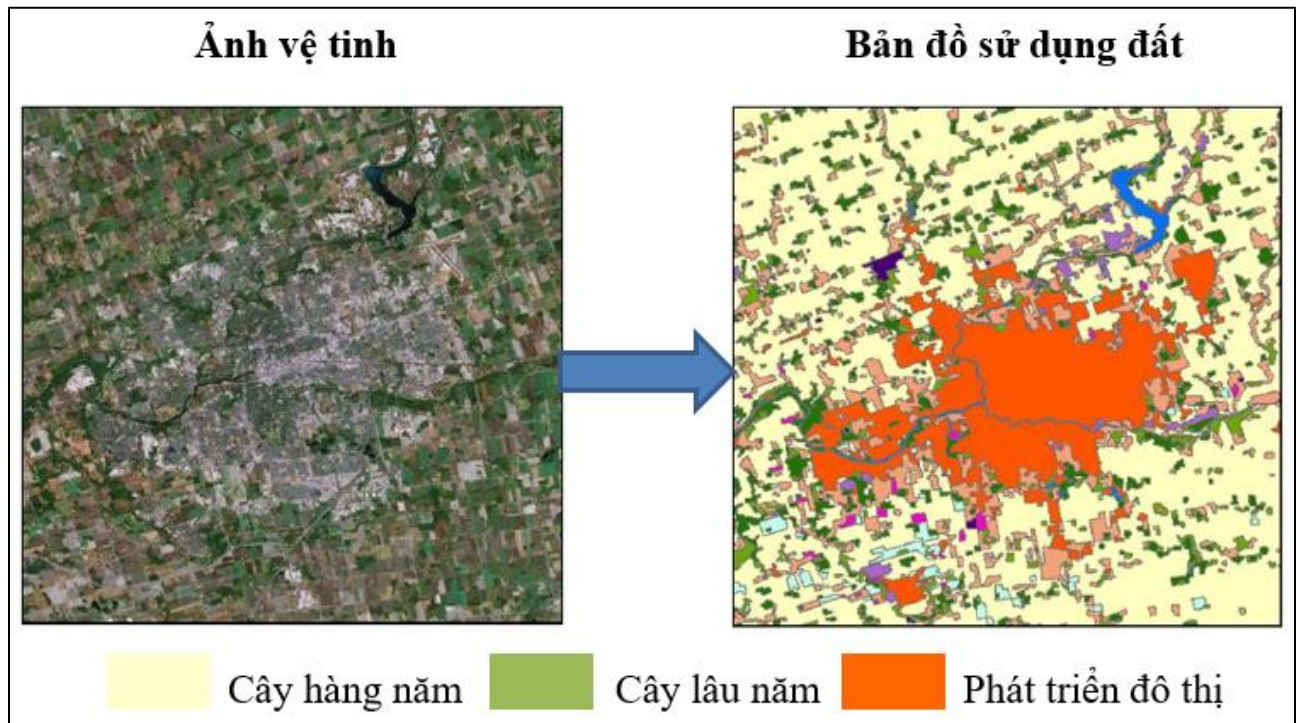
Nghiên cứu về thay đổi sử dụng đất nhằm phân tích những nguyên nhân, động lực thúc đẩy và những tác động của con người ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất và môi trường sinh thái. Để giải thích được nguyên nhân cũng như đánh giá được các tác động ảnh hưởng của thay đổi sử dụng đất, nhiều nghiên cứu về sử dụng phân tích không gian và mô hình thay đổi sử dụng đất đã được thực hiện bởi: White and Engelen, (2000); Wu and Webster, (1998); Verburg and Veldkamp (2001), Irwin and Geoghegan (2001). Dự án quốc tế về nghiên cứu thay đổi lớp phủ mặt đất (land cover change) được thực hiện và điều hành bởi nhiều trường đại học và các viện nghiên cứu như Đại học Clark, Mỹ (1994-1996), Viện Cartografic de Catalunya, Tây Ban Nha (1997- 1999) và Trường Đại học Công giáo Leuven, Bỉ (2000 - 2005). Mục tiêu của dự án là tăng cường sự hiểu biết về những tác động của con người và động thái của biến động đất đai đến những thay đổi về độ che phủ mặt đất. Theo Muller and Munroe (2007), khi sử dụng mô hình cần thiết phải kiểm chứng kết quả dự báo sự thay đổi sử dụng đất bằng biện pháp phân tích thống kê, nhằm kiểm định giả thuyết về phân loại các yếu tố và kiểm tra độ chính xác để đạt được kết quả tốt và đồng nhất.

Nghiên cứu về thay đổi sử dụng đất tại thành phố Them thuộc bang Tomohon của Indonesia với đối tượng nghiên cứu là các loại hình sử dụng đất và những nông dân, người trực tiếp chuyển đổi đất của họ ở năm huyện bằng kỹ thuật chọn mẫu ngẫu nhiên theo tỷ lệ. Nghiên cứu có sự tham gia của các chuyên gia đã sử dụng phương pháp phân tích nhân tố và quy trình phân tích thứ bậc (AHP) để phân tích dữ liệu. Phân tích định tính mang tính mô tả để giải thích quá trình chuyển đổi đất và tác động của nó ở Tomohon. Kết quả cho thấy có 3 yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất, đó là yếu tố kinh tế, yếu tố cảnh quan và yếu tố an ninh lương thực. Khi sử dụng quy trình phân tích thứ bậc trong phân tích chuyển đổi đất đai, khía cạnh được xem xét là khía cạnh kinh tế của chính sách công về đa dạng hóa lương thực. Chiến lược phát triển phù hợp của Thành phố Tomohon là chiến lược phát triển du lịch sinh thái (Noortje, 2013).

Yu và ctv., 2011 đã sử dụng tư liệu ảnh vệ tinh Landsat xác định được thay đổi sử dụng đất tại thành phố Daqing tỉnh Heilongjiang (1997 đến 2007). Kết quả cho thấy, đất xây dựng, đất nông nghiệp và đất chưa sử dụng tăng lên gấp đôi trong khi các vùng đất ngập nước giảm đi 60%. Nguyên nhân dẫn đến thay đổi sử dụng đất là do gia tăng dân số và các chính sách phát triển kinh tế xã hội. Qihao Weng (Qihao Weng, 2001) đã ứng dụng GIS, Viễn thám và mô hình Markov trong phân tích sự thay đổi sử dụng đất vùng đồng bằng của Trung Quốc. Kết quả cho thấy, kể từ năm 1978 khi bắt đầu cải cách kinh tế và chính sách mở cửa đã dẫn đến việc thay đổi sử dụng đất nhanh chóng diễn ra ở nhiều khu vực ven biển do công nghiệp

hóa và đô thị hóa. Giải pháp tích hợp công nghệ đã minh chứng tính hiệu quả và khả thi để phân tích xu hướng, tốc độ và mô hình hóa trong phân tích các quá trình thay đổi sử dụng đất.

Nghiên cứu về mối quan hệ giữa tăng trưởng dân số và thay đổi sử dụng đất trong 50 năm của Mohanty (2007) dựa trên số liệu thống kê (1950 đến 2000) từ liệu bản đồ và ảnh viễn thám. Kết quả cho thấy mặc dù mức độ tăng dân số đã chậm lại, nhưng do phát triển kinh tế dẫn đến Đất phi nông nghiệp tăng quá nhanh và những tác động tiêu cực do quá trình đô thị hóa. Trong khu vực thủ đô của Ấn Độ, Suzanchi và Kaur (2011) đã áp dụng ảnh viễn thám và phân tích không gian trong GIS cho thấy: đất sản xuất nông nghiệp tăng 67,4% (từ 1989 đến 1998) nhưng từ năm 1998 đến 2006 chỉ tăng 5,7%. Đất xây dựng tăng chủ yếu là do gia tăng dân số đô thị và thay đổi sử dụng đất chịu ảnh hưởng của yếu tố kinh tế xã hội, cũng như thay đổi trong sử dụng đất nông nghiệp phụ thuộc vào chi phí lợi ích trong sản xuất nông nghiệp. **Hình 1.7** thể hiện kết quả giải đoán sử dụng đất từ ảnh vệ tinh bao gồm đất trồng cây hàng năm, đất trồng cây lâu năm và đất phát triển đô thị.



**Hình 2.6. Thay đổi sử dụng đất tại đô thị**

Trước đây việc sử dụng đất ở New Zealand gây ra những ảnh hưởng cho chất lượng nước ở các suối và hồ, có rất ít công cụ được sử dụng ở New Zealand để dự đoán tác động của việc sử dụng đất ở quy mô quốc gia. Hệ thống hỗ trợ quyết định không gian CLUES đã được phát triển gần đây để hỗ trợ đánh giá sự thay đổi sử dụng đất đối với chất lượng nước, trang trại kinh tế và việc làm. Hệ thống kết hợp một số mô hình hiện có từ một số nhà nghiên cứu cung cấp, từ các mô hình rửa trôi ở quy mô trang trại đến quốc gia dựa trên mô hình hồi quy. Một ứng dụng ban đầu của mô hình là xác định các lưu vực nơi các vùng



nước mặt bị ô nhiễm từ các nguồn nitrat. Một số các phần mở rộng của hệ thống đang được tiến hành để cải thiện tính hữu ích cho việc ra quyết định của địa phương. Chúng bao gồm làm cho việc giải quyết không gian sử dụng đất tốt hơn, thêm các phương án quản lý sử dụng đất và tăng số lượng các biện pháp môi trường. Điều này sẽ cải thiện tiện ích của mô hình quản lý tổng hợp lưu vực (Sandy, 2008).

Gần đây, các nhà khoa học đã bắt đầu sử dụng hình ảnh vệ tinh để hiểu rõ nguyên nhân biến động đất đai do con người gây ra (Samuel N.A.C, 2010). Các kỹ thuật đánh giá biến động đã được phát triển trong vòng hơn 20 năm qua bao gồm: hồi quy ảnh (image regresion), tỷ số ảnh (image ratio) và phân tích thành phần chính ảnh (Principal Component Analysis - PCA) kết xuất sau phân loại ảnh và các chỉ số phát triển thực vật (Inzumul H.M và Rony B, 2017). Mặc dù các phương pháp này đã thành công trong giám sát thay đổi cho nhiều ứng dụng, tuy nhiên vẫn chưa có sự đồng thuận như là một cách tiếp cận tốt nhất. Các phương pháp đánh giá biến động được ứng dụng phần lớn sẽ phụ thuộc vào tính sẵn có của dữ liệu, các nghiên cứu về địa lý, các giới hạn về thời gian và cách tính toán và cả loại ứng dụng.

#### ❖ Nghiên cứu ứng dụng mô hình dự báo thay đổi sử dụng đất

Nghiên cứu mô hình hóa thay đổi sử dụng đất có ý nghĩa rất lớn đối với việc sử dụng đất. Nên đã có nhiều nghiên cứu để phát triển mô hình hỗ trợ công tác phân tích và dự báo thay đổi sử dụng đất. Mô hình mô phỏng thay đổi sử dụng đất thường được sử dụng trong giám sát quá trình đô thị hóa. Đô thị hóa là một hiện tượng trên toàn thế giới nhưng tốc độ đô thị hóa rất nhanh ở các nước đang phát triển. Nó chủ yếu được thúc đẩy bởi sự mở rộng không có tổ chức, nhập cư tăng, dân số tăng nhanh. Trong bối cảnh này, sử dụng đất và thay đổi độ che phủ đất được coi là một trong những thành phần trung tâm trong các chiến lược hiện tại để quản lý tài nguyên thiên nhiên và giám sát các thay đổi môi trường. Trong bối cảnh này, các công nghệ không gian địa lý và phương pháp viễn thám cung cấp các công cụ thiết yếu có thể được áp dụng trong phân tích phát hiện thay đổi sử dụng đất (Ibrahim R.H và Mosbeh R.K, 2015).

Một trong những cơ sở quan trọng để tiến hành mô phỏng sử dụng đất là đánh giá biến động đất đai thông thường là phương pháp so sánh ảnh sau phân loại (Post-classification image comparison). Hạn chế của phương pháp này là độ chính xác của bản đồ biến động phụ thuộc vào độ chính xác của mỗi lớp riêng biệt cho mỗi thời điểm ảnh (Lambin and Strahler, 1994). Một phương pháp mà đánh lừa nguồn gốc lỗi này là phân tích ảnh đa thời gian sử dụng kỹ thuật phân tích thành phần chính (PCA) (Fung and Le Drew 1987). Kỹ thuật này liên quan đến thực hiện phân tích thành phần chính sử dụng dữ liệu ảnh ở hai thời điểm để tạo ra một ảnh mới mà không tương quan với nhau. Mặc dù đây là phương pháp giảm thiểu dư thừa dữ liệu nhưng có thể khó liên kết giữa đặc điểm địa lý các scen (cảnh ảnh) với các thành phần độc lập. Đánh giá biến động dạng số là một quá trình xác định và lượng hóa những thay đổi dựa trên đăng ký đồng bộ và dữ liệu viễn thám đa thời gian. Nhiều phương pháp đánh giá

biến động đã được phát triển và tham khảo từ những năm 1980. Nhìn chung có 2 nguyên lý tiếp cận thường được sử dụng cho đánh giá biến động (Suming và ctv, 2013) (1) Cách tiếp cận phổ biến bằng cách sử dụng đồng thời phân tích dữ liệu đa thời gian và đa phổ và (2) phương pháp tiếp cận sau phân loại khi các lớp độc lập được tạo ra và so sánh nhằm xác định các thông tin thay đổi. Một cách tiếp cận sử dụng cả hai phương pháp trên cũng có thể phù hợp trong nghiên cứu biến động.

Một sự đồng thuận của các nhà nghiên cứu là không có một phương pháp hay thuật toán duy nhất nào được sử dụng trong mô phỏng thay đổi sử dụng đất (Suming và ctv, 2013). Điều này có nghĩa là nghiên cứu thay đổi sử dụng đất cấp vùng và những khu vực rộng lớn phải sử dụng kết hợp nhiều phương pháp và mô hình khác nhau. Thách thức chủ yếu là làm thế nào xác định một cách chính xác những thay đổi sử dụng đất gây ra bởi các biến tự nhiên (ví dụ thời tiết và các điều kiện khí hậu) và các yếu tố không liên quan khác. Điều cần thiết là phát triển các phương pháp tự động hoặc bán tự động một cách chính xác, hiệu quả cho giám sát biến động đất đai ở tỷ lệ cấp vùng và toàn cầu. Đây là chủ đề nghiên cứu đang tiếp diễn đầy thách thức bởi vì sử dụng dữ liệu viễn thám độc lập đôi khi trong thời gian ngắn để đánh giá biến động đất đai trong vùng địa lý rộng lớn do vấn đề khó xác định “ill-define” (ví dụ phổ giống nhau của các lớp phủ khác nhau) giống như vấn đề căn bản về đảo ngược tham số sinh học trong viễn thám. Từ đó có thể kết luận rằng thay đổi sử dụng đất có thể được đánh giá và lượng hóa ở tỷ lệ cấp vùng và toàn cầu nếu nhiều nguồn dữ liệu theo thời gian, quang phổ và chuyên đề được tích hợp, phân tích và giải thích cùng lúc.

Với một vài ngoại lệ, hầu hết các đánh giá về thay đổi sử dụng đất ở cấp vùng và quốc gia được thực hiện bằng cách sử dụng chỉ một cặp ảnh được thu (chụp) trong mùa sinh trưởng (growing season), vì thế chúng thiếu thông tin về biến động vốn tồn tại giữa các mùa (Pouliot và ctv, 2009). Những kỹ thuật phát triển gần đây đã sử dụng phương pháp đánh giá thay đổi quỹ đạo cơ bản trong đó sử dụng số lượng lớn ảnh Landsat đa thời gian đã đạt được một số thành công. Phương pháp đang có nhiều triển vọng nhưng được phát triển chủ yếu cho đánh giá biến động đất rừng và chưa được thử nghiệm với các loại hình sử dụng đất khác. Một thách thức khác là đánh giá biến động chỉ dựa trên dữ liệu phổ đơn lẻ thường không thể đáp ứng cho nhiều loại hình sử dụng đất biến động trên một khu vực địa lý rộng lớn. Người ta thường kết hợp kiến thức đã biết trước về lớp phủ mặt đất và quỹ đạo thay đổi sử dụng đất với đánh giá biến động phổ nhằm cải thiện kết quả đánh giá và phân tích về biến động đất đai (Gong và ctv, 2008).

Một cách tiếp cận tiềm năng đầy hứa hẹn là đánh giá biến động đất đai sử dụng phương pháp tích hợp kỹ thuật viễn thám với hệ thống dựa trên tri thức (neural network). Hệ tri thức dựa trên quan điểm chuyên gia và các quy luật biến động của các loại hình sử dụng đất hiện tại. Kiến thức chuyên gia có thể được thể hiện dưới dạng các quy luật hay các thuộc tính thu được và lắp ráp từ các yếu tố quang phổ, không gian và thời gian và kiến thức địa lý không

gian về biến động đất đai có thể xây dựng thành một hệ thống. Với hệ thống, các quy luật và giả thuyết có thể liên kết với nhau để mô tả các loại hình sử dụng đất biến động (Shafer và Logan, 1987).

Tổng quan các nghiên cứu trên thế giới cho thấy nhiều mô hình toán đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi trong phân tích và dự báo thay đổi sử dụng đất, nhằm cho phép lượng hóa mức độ tác động của từng yếu tố đến thay đổi sử dụng đất, theo không gian và thời gian. Trong đó, LCM (Land Change Modeler) được áp dụng khá hiệu quả để phân tích thay đổi sử dụng đất do tác động của BĐKH. MOLUSCE cho phép phân tích, đánh giá điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và đánh giá tiềm năng đất đai làm cơ sở để xây dựng định hướng sử dụng đất đến theo các kịch bản BĐKH khác nhau. Đối với mô hình SLEUTH chỉ phù hợp dự báo thay đổi sử dụng đất khi phát triển các hệ thống giao thông mới. Mô hình UPLAN được áp dụng trong dự báo phát triển đô thị và UrbanSim hỗ trợ tạo mô hình giá đất và phát triển chính sách về môi trường đô thị. Do đó, nghiên cứu thử nghiệm mô hình toán LCM (Land Change Modeler) cùng với MOLUSCE áp dụng trong phân tích và mô phỏng thay đổi sử dụng đất là rất phù hợp cho tỉnh Bến Tre trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

#### **1.4.2. Nghiên cứu tại Việt Nam**

Trong những năm qua, theo quá trình dịch chuyển kinh tế từ nền kinh tế thuần nông sang nền kinh tế công nghiệp hóa, hiện đại hóa gắn liền với đô thị hóa cùng với sự gia tăng dân số, đã làm thay đổi trên quy mô lớn và tốc độ cao cơ cấu sử dụng đất. Những thay đổi đó đã tác động mạnh mẽ tới môi trường, tới hoạch định phát triển kinh tế, ổn định xã hội trong từng thời kỳ cụ thể cũng như chiến lược lâu dài của địa phương. Vì vậy, rất cần thiết phải có những thông tin kịp thời, phản ánh đầy đủ về hiện trạng, mức độ thay đổi, xu hướng thay đổi và hiệu quả sử dụng đất nhằm giúp cho các nhà quản lý, lãnh đạo nhanh chóng xác định quỹ đất hiện có, những vùng đất có nguy cơ chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu để đưa ra những quyết sách về sử dụng tài nguyên đất một cách bền vững nhằm phát triển về kinh tế, ổn định về xã hội và đảm bảo quốc phòng - an ninh (Lê Đức Hạnh và ctv, 2013). Với sự phát triển khoa học và công nghệ hiện nay, viễn thám là công cụ cung cấp thông tin đa dạng, đồng bộ về hiện trạng sử dụng đất, được ứng dụng rộng rãi trên thế giới và Việt Nam. Kết hợp với hệ thống tin địa lý (GIS) sẽ đưa ra kết quả nhanh chóng về sự biến động của các loại hình sử dụng đất hiện có, đảm bảo tính đồng nhất cao về không gian và thời gian của các thông tin trên phạm vi lớn, cho phép chỉnh lý, bổ sung các yếu tố thành phần trong trường hợp cần thiết. Các nghiên cứu khoa học có liên quan đến sử dụng đất, biến động sử dụng đất, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đối với sử dụng đất nói riêng và tài nguyên thiên nhiên nói chung trong vòng hơn một thập kỷ qua tương đối nhiều và đa dạng.

Nghiên cứu sự thay đổi lớp phủ mặt đất trên phạm vi toàn quốc từ năm 2001 - 2003 bằng tư liệu ảnh MODIS (Nguyễn Đình Dương, 2006). Trong đó, bản đồ lớp phủ mặt đất cho Việt Nam vào các năm 2001, 2002 và 2003 được thực hiện bằng thuật toán GASC để xử lý

ảnh viễn thám đa phổ. Kết quả chỉ ra tính hữu ích của việc sử dụng các dữ liệu viễn thám để kiểm kê tài nguyên thiên nhiên và giám sát môi trường ở phạm vi toàn quốc. Đặc biệt, khả năng phân tích xu hướng thay đổi độ che phủ đất. Ứng dụng ảnh vệ tinh Landsat 5 đánh giá biến động lớp phủ mặt đất vùng Đông Nam Bộ giai đoạn 1995 – 2005 được thực hiện bởi (Lê Ngọc Lâm, 2008) bao gồm đánh giá biến động các lớp phủ mặt đất chính: rừng, đất trồng cây hàng năm, đất trồng cây lâu năm, đất xây dựng và phát triển đô thị. Kết quả cho thấy việc ứng dụng GIS & RS rất hiệu quả trong xác định diện tích rừng đã chuyển sang canh tác nông nghiệp, đánh giá được xu thế biến động và dự báo chu chuyển các loại hình sử dụng đất ở và xây dựng do tác động tiêu cực của quá trình đô thị hóa và phát triển KT-XH.

Quá trình đô thị hóa đã dẫn tới sự thay đổi lớn trong việc sử dụng đất ở hầu hết các tỉnh thành ở nước ta, đặc biệt là ở các thành phố lớn. (Trịnh Lê Hùng & ctv, 2017) đã sử dụng tư liệu ảnh vệ tinh Landsat trong bốn thời điểm từ năm 2000 đến năm 2015. Kết hợp với mô hình Markov-CA, phương pháp phân tích đa chỉ tiêu và phương pháp hồi quy theo thời gian để đánh giá và mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất đô thị. Kết quả cho thấy sử dụng ảnh vệ tinh Landsat rất khả thi trong phân tích sự thay đổi sử dụng đất và mô hình Markov-CA được áp dụng khá hiệu quả trong mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất đô thị đến năm 2020 khu vực nội thành Hà Nội.

Nghiên cứu biến động và đề xuất các giải pháp quản lý sử dụng đất hợp lý huyện Tiên Yên, tỉnh Quảng Ninh (Nguyễn Thị Thu Hiền, 2015) đã áp dụng dữ liệu viễn thám và công nghệ GIS trong thành lập bản đồ biến động sử dụng đất, kết hợp với sử dụng mô hình hồi quy logistic đa biến để phân tích mối quan hệ tương quan giữa các yếu tố địa hình, độ dốc, khoảng cách đến khu dân cư,... có tác động đối với thay đổi sử dụng đất trên địa bàn huyện Tiên Yên.

Nghiên cứu biến động lớp phủ trong quá trình phát triển kinh tế - xã hội tỉnh Hòa Bình với sự trợ giúp của công nghệ viễn thám và GIS. Tác giả Nguyễn Thị Thúy Hạnh cũng đã sử dụng mô hình Hồi quy logistic bội, nhằm phân tích mối quan hệ giữa các yếu tố địa lý tự nhiên, kinh tế xã hội với biến động lớp phủ rừng (giai đoạn 1994-2013).

Nghiên cứu ứng dụng GIS và chuỗi Markov trong mô phỏng xu hướng biến động sử dụng đất trên địa bàn thành phố Nha Trang đến năm 2020. Kết quả nghiên cứu đã thành lập bản đồ biến động sử dụng đất giai đoạn 2010 – 2015 cho 5 loại sử dụng đất: nông nghiệp, lâm nghiệp, đất phi nông nghiệp, đất ở và đất chưa sử dụng; đồng thời đã phân tích nguyên nhân biến động sử dụng đất đai cũng như mô phỏng chiều hướng biến động sử dụng đất đến năm 2020 và đối chiếu so sánh với phương án quy hoạch sử dụng đất đến 2020 đã phê duyệt (Huỳnh Văn Chương & ctv, 2017). Nghiên cứu cũng đã phân tích nguyên nhân gây ra biến động sử dụng đất trong giai đoạn 2010-2020. Kết quả mô phỏng biến động diện tích các loại sử dụng đất bằng chuỗi Markov so với phương án quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020 đã được phê duyệt không có sự sai khác lớn. Kết quả nghiên cứu cung cấp được phương pháp nghiên cứu biến động cho nhiều đối tượng và có thể áp dụng cho nhiều địa phương khác nhau.

Mô hình Mô phỏng thay đổi sử dụng đất CLUMondo đã được áp dụng trong đánh giá Môi trường Chiến lược phục vụ điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất toàn quốc (giai đoạn 2015 – 2020) trong khuôn khổ chương trình cốt lõi tiểu vùng sông Mekong mở rộng (CEP, 2014). CLUMondo được đánh giá là mô hình khá phù hợp trong phân tích không gian. trong chuyển đổi đất trồng luân canh sang đất trồng thâm canh. Ứng dụng mô hình CLUMondo trong việc mô phỏng kịch bản chuyển đổi mục đích sử dụng đất cho tỉnh Phú Yên đến năm 2020 trước bối cảnh của biến đổi khí hậu cũng được Nguyễn Thái Nam (2016) thực hiện với yêu cầu dữ liệu cung cấp bởi bằng phần mềm ArcGIS. Kết quả mô phỏng theo các kịch bản phát triển kinh tế – xã hội cho thấy các tác động của biến đổi khí hậu là kịch bản nước biển dâng và kịch bản rủi ro lũ quét do mưa bão vào năm 2020 theo mức phát thải cao đã được sử dụng để khoanh vùng các khu vực nguy cơ chịu sự tác động lớn do yếu tố biến đổi khí hậu, lũ quét và nước biển dâng tại tỉnh Phú Yên.

Nghiên cứu ứng dụng mô hình CLUE-s mô phỏng quá trình thay đổi sử dụng đất theo kịch bản gia tăng dân số nhằm cung cấp thông tin cho các nhà quản lý địa phương có thêm cơ sở khoa học trong công tác quản lý và quy hoạch sử dụng đất bền vững (Phạm T. Lợi và Đào N Khôi, 2021). Trong đó, phương trình hồi qui logistic được sử dụng để xây dựng mối tương quan của các loại sử dụng đất với các yếu tố ảnh hưởng. Kết quả cho thấy hoạt động sử dụng đất trên lưu vực sông Bé có xu hướng chuyển đổi sử dụng đất rừng chuyển thành đất nông nghiệp và đất nông nghiệp chuyển thành đất đô thị.

Với cách tiếp cận sử dụng công cụ mô hình hóa trong mô phỏng phân bố sử dụng đất phù hợp cho việc điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất toàn quốc giai đoạn 2015 - 2020, mô hình CLUE cũng đã được lựa chọn để đánh giá biến động sử dụng đất dựa trên nhu cầu sử dụng và mức độ phù hợp của cả các yếu tố tự nhiên và nhân sinh cho việc phân bố của từng loại hình sử dụng đất.

Ngoài các nghiên cứu về đánh giá thay đổi sử dụng đất, các nghiên cứu liên quan đến hoạt động giám sát tài nguyên đất, hoạch định chính sách về đất đai nhằm ứng phó với tác động của biến đổi khí hậu cũng đã có một số dự án đã và đang được triển khai, cụ thể như sau:

- Nghiên cứu đánh giá tổng quát tác động của BĐKH đến tài nguyên đất đai và các biện pháp thích ứng do Tổng cục Quản lý đất đai thực hiện trong khuôn khổ Dự án Tăng cường năng lực cho cơ quan đầu mối về BĐKH, do Đan Mạch hỗ trợ Bộ Tài nguyên và Môi trường. Nghiên cứu này đã cung cấp một báo cáo đánh giá tổng quát về các tác động của biến đổi khí hậu đối với tài nguyên đất ở Việt Nam, làm cơ sở cho các hoạt động ứng phó với biến đổi khí hậu trong lĩnh vực đất đai.

- Dự án đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đặc biệt là nước biển dâng đến diện tích và cơ cấu sử dụng đất vùng Duyên hải Nam trung Bộ và vùng Miền núi và Trung du Bắc Bộ của Bộ Tài nguyên và Môi trường (2015). Các nội dung/hoạt động chủ yếu của dự án:

Điều tra thu thập thông tin, tài liệu phục vụ việc xây dựng và thực hiện dự án; Tổng hợp, phân tích thông tin, số liệu, tài liệu điều tra thu thập; Phân tích, đánh giá mối quan hệ giữa phát triển kinh tế - xã hội, biến đổi khí hậu và vấn đề quản lý, sử dụng đất; Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến sự biến động về diện tích, cơ cấu sử dụng đất; Mô phỏng tác động của biến đổi khí hậu, đặc biệt là nước biển dâng đến diện tích cơ cấu sử dụng đất theo kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng ứng với các năm 2020, 2030, 2050, 2100; Xác định tiêu chí đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến quy hoạch sử dụng đất; Đề xuất các giải pháp thích ứng với tác động biến đổi khí hậu trong lĩnh vực quản lý, sử dụng đất.

- Dự án xây dựng định hướng sử dụng đất vùng đồng bằng sông Cửu Long thích ứng với biến đổi khí hậu và nước biển dâng (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2019). Các nội dung/hoạt động chủ yếu của dự án: Điều tra, thu thập các thông tin, dữ liệu, bản đồ phục vụ dự án; Phân tích, đánh giá điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và diễn biến của biến đổi khí hậu và nước biển dâng tác động đến việc sử dụng đất; Phân tích, đánh giá tình hình quản lý, hiện trạng và biến động sử dụng đất giai đoạn 20 năm (1990 - 2010); tình hình chuyển đổi cơ cấu sử dụng đất của các địa phương; đánh giá tiềm năng đất đai làm cơ sở để xây dựng định hướng sử dụng đất đến năm 2030 và 2050 theo các kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng; Xây dựng định hướng sử dụng đất đến năm 2030 và 2050 theo các kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng; Xây dựng báo cáo thuyết minh, hoàn chỉnh tài liệu định hướng sử dụng đất đến năm 2030 và 2050 của vùng; trình thông qua, xét duyệt.

- Nghiên cứu xây dựng hệ thống giám sát tài nguyên đất trong điều kiện biến đổi khí hậu tại Việt Nam do Tổng cục Quản lý đất đai thực hiện năm 2013. Đề tài thuộc Chương trình khoa học và công nghệ phục vụ Chương trình mục tiêu Quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2011 – 2015 với mục tiêu: Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đối với việc quản lý, sử dụng đất đai, xác định các yếu tố, chỉ tiêu đánh giá mức độ ảnh hưởng; Đề xuất bộ tiêu chí giám sát về tài nguyên đất đối với những khu vực chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu; Đề xuất hệ thống giám sát sử dụng tài nguyên đất đối với các khu vực chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu.

- Nghiên cứu của Phạm Vũ Chung năm 2017 đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến sử dụng đất nông nghiệp tại tỉnh Hà Tĩnh cho thấy nguyên nhân chính gây biến động các loại hình sử dụng đất nông nghiệp trong giai đoạn 2005-2015 là do tỉnh đã có sự điều chỉnh các mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội, điều chỉnh cơ chế, chính sách phát triển theo hướng công nghiệp hóa và đô thị hóa theo xu hướng cả nước và do gia tăng dân số. Bên cạnh đó, trong thời gian qua BĐKH đã gây nên tình trạng xâm nhập mặn tiến sâu hơn vào nội đồng, diện tích đất bị khô hạn, hoang hóa có xu hướng mở rộng, hiện tượng ngập úng, xói mòn, rửa trôi, sạt lở đất... xảy ra thường xuyên và diễn biến phức tạp tại các vùng khác nhau.

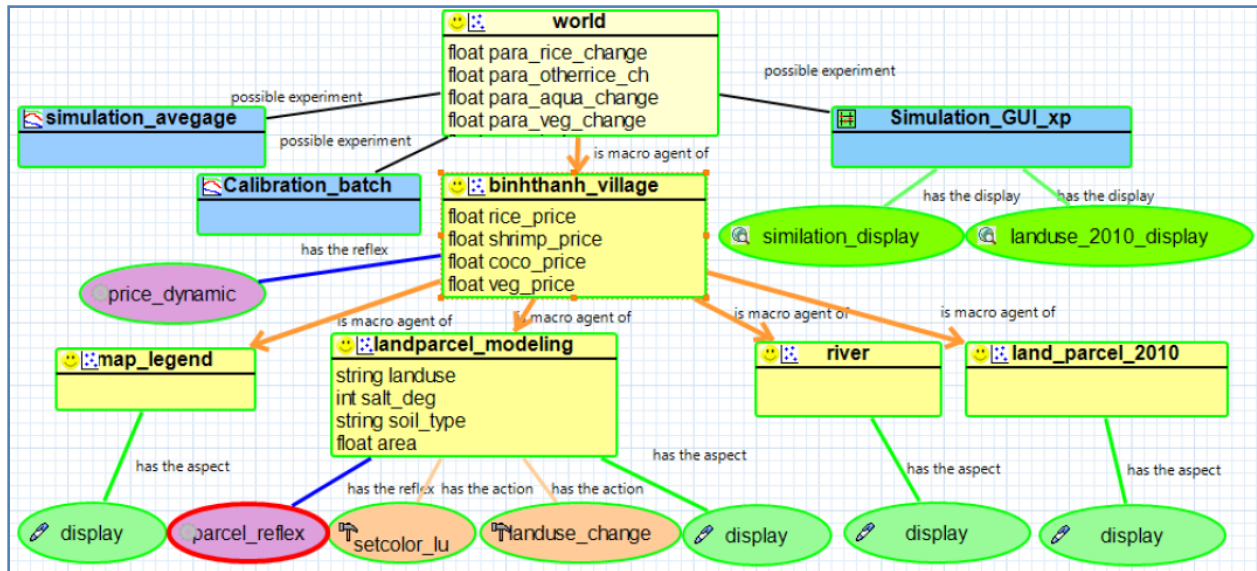
- Nghiên cứu của Thái Thành Dư và cộng sự năm 2016 cho thấy trong những năm gần đây, do tác động của biến đổi khí hậu đã làm cho tình hình canh tác nông nghiệp và cơ cấu sử dụng đất ở tỉnh Hậu Giang có nhiều thay đổi, gây khó khăn cho việc sản xuất theo hướng ổn định, bền vững. Nhằm góp phần quản lý chặt chẽ hơn diện tích canh tác và đánh giá tác

động của biến đổi khí hậu đến tình hình canh tác nông nghiệp ở địa phương, đề tài sử dụng kịch bản biến đổi khí hậu của Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam và ứng dụng công nghệ GIS để đánh giá sự biến động của hiện trạng sử dụng đất lúa giai đoạn 2005-2013 và diện tích lúa bị ảnh hưởng do biến đổi khí hậu ở tỉnh.

#### ❖ Nghiên cứu tại tỉnh Bến Tre

- Nghiên cứu của Đặng Thị Bé Thơ năm 2013 đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến sản xuất nông nghiệp tỉnh Bến Tre đã tìm hiểu những biểu hiện của BĐKH như nhiệt độ, lượng mưa, mực nước, xâm nhập mặn... đã biến đổi như thế nào và dự đoán cho tương lai dựa vào các kịch bản BĐKH. Đây là cơ sở rất quan trọng để đánh giá sự tác động của BĐKH đến sản xuất nông nghiệp. Các biểu hiện sự gia tăng dịch bệnh, năng suất và diện tích đất nông nghiệp giảm, thời vụ gieo trồng thay đổi nguyên nhân chủ yếu là do xâm nhập mặn đến sớm và sâu, do mực nước dâng cao, do nhiệt độ và độ ẩm tăng... là những tác động chính của BĐKH đến sản xuất nông nghiệp.

- Trương Chí Quang và cộng sự năm 2014 nghiên cứu về ứng dụng mô hình đa tác tử mô phỏng thay đổi sử dụng đất vùng ven biển đồng bằng sông cửu long. Mô hình được xây dựng gồm 6 tác tử với các hành động và các hành vi.



**Hình 2.7. Mô hình thay đổi sử dụng đất được xây dựng trên GAMA**

(Nguồn: Trương Chí Quang & Ctv, 2014)

**Hình 1.8** cho thấy với mỗi mô hình thường có ít nhất một thực nghiệm (experiment) để thực thi mô phỏng. Đối với mô hình này, ngoài một thực nghiệm có giao diện hiển thị bản đồ mô phỏng Simulation\_GUI\_xp còn có 2 thực nghiệm khác là Calibration\_batch cho phép chạy mô phỏng nhiều lần theo giải thuật Genetic để tối ưu hóa bộ tham số của mô hình, thực nghiệm simulation\_avegace dùng chạy mô phỏng nhiều lần lặp lại để tính toán tự động kết quả trung bình các lần mô phỏng.

- Ứng dụng RS & GIS giám sát biến động đất đai khu vực chịu tác động của biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre giai đoạn 2005 – 2015 (Lê Ngọc Lãm, 2016). Kết quả nghiên cứu cho thấy ảnh Landsat được áp dụng hiệu quả trong đánh giá biến động lớp phủ và các loại hình sử dụng đất. Đặc biệt, các yếu tố tác động của BĐKH làm thay đổi từ loại hình sử dụng đất (lúa, vườn dừa, ruộng tôm và đất phát triển dân cư,...) diễn ra tập trung ở hai huyện Ba Tri và Bình Đại.

- Nghiên cứu “Sử dụng ảnh viễn thám đa thời gian SPOT5 đánh giá biến động sử dụng đất khu vực dự án hai tỉnh Bến Tre và Trà Vinh” trong chương trình Rừng ngập mặn cho Tương lai (MFF, 2014) Gland, Thụy Sĩ. Nghiên cứu với mục đích tăng cường khả năng phục hồi của rừng ngập mặn tại 05 huyện ven biển của Bến Tre và Trà Vinh. Đề tài đã áp dụng thuật toán ISODATA trong phân loại ảnh vệ tinh SPOT5 đa thời gian (từ 2005, 2009 đến 2012 tại Bến Tre, Trà Vinh và đến năm 2013 ở tỉnh Cà Mau) trong đánh giá biến động lớp phủ rừng khu vực ven biển đồng bằng sông Cửu Long.

### **1.4.3. Đánh giá chung**

Qua tổng quan các kết quả nghiên cứu trên thế giới và tại Việt Nam cho thấy để việc sử dụng đất thích nghi với điều kiện tự nhiên, nâng cao hiệu quả hỗ trợ phát triển kinh tế – xã hội bền vững thì việc đánh giá thay đổi sử dụng đất ở các cấp độ vùng và địa phương theo thời gian là cần thiết. Các địa phương cần phải hình thành hệ thống giám sát thay đổi sử dụng đất làm cơ sở cho dự báo chính xác diện tích cơ cấu sử dụng đất theo từng kịch bản tác động của BĐKH. Những vấn đề được rút ra từ các nghiên cứu có liên quan bao gồm:

(1) GIS, RS là công cụ chủ yếu trong nghiên cứu đánh giá sử dụng đất và thay đổi sử dụng đất đảm bảo tính đầy đủ và kịp thời nhờ vào nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh mới nhất bao phủ toàn cầu.

(2) GIS, RS và mô hình toán ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong giám sát, phân tích và dự báo thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh BĐKH. Việc tích hợp các kỹ thuật chủ đạo và kiến thức chuyên gia cho phép lượng hóa mức độ tác động của từng yếu tố đến thay đổi sử dụng đất, xác định rõ xu thế và quy luật diễn biến thay đổi sử dụng đất theo không gian và thời gian.

(3) Các nghiên cứu đã minh chứng tính hiệu quả của việc tích hợp các công nghệ GIS, RS và mô hình toán trong phân tích và đánh giá tác động của điều kiện tự nhiên, BĐKH và chính sách phát triển kinh tế – xã hội đến từng loại hình sử dụng đất khác nhau. Quan điểm chung trong quản lý cả đất đai và tài nguyên thiên nhiên, nhằm tối đa hoá lợi ích kinh tế và phúc lợi xã hội một cách công bằng mà không phương hại đến tính bền vững của các hệ sinh thái thiết yếu. Hiện nay, ở Việt Nam GIS, RS và mô hình toán bước đầu đã được hình thành và ứng dụng thử nghiệm thành công trong một số vấn đề về đánh giá thay đổi sử dụng đất, dự



báo chính xác diện tích cơ cấu sử dụng đất theo từng kịch bản tác động phục vụ công tác quy hoạch sử dụng đất bền vững.

(4) Ảnh vệ tinh đa thời gian chủ yếu sử dụng trong thành lập bản đồ hiện trạng lớp phủ mặt đất với các phần mềm như ENVI, ERDAS IMAGINE... cung cấp các thuật toán phân loại giám định: MLC (Maximum Likelihood Classifier) hay ANN (Artificial Neural Network) với độ chính xác khác nhau phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Kết quả phân loại không chỉ ảnh hưởng đến kết quả tạo các bản đồ sử dụng đất phục vụ công tác quản lý đất đai nói riêng và quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường nói chung, mà còn ảnh hưởng trực tiếp tới kết quả dự báo trong các mô hình dự báo thay đổi sử dụng đất. Do đó, quy trình và giải pháp tích hợp công nghệ GIS - RS để nâng cao độ chính xác tạo ra bản đồ hiện trạng ở các tỉ lệ khác nhau, có ý nghĩa góp phần quan trọng cho hệ thống giám sát kịp thời, liên tục và thống nhất về cập nhật cơ sở dữ liệu GIS về đất đai. Các chuẩn dữ liệu GIS phải theo đúng quy định của địa phương và tuân thủ tiêu chí đánh giá, phân loại và xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia của Bộ TN&MT.

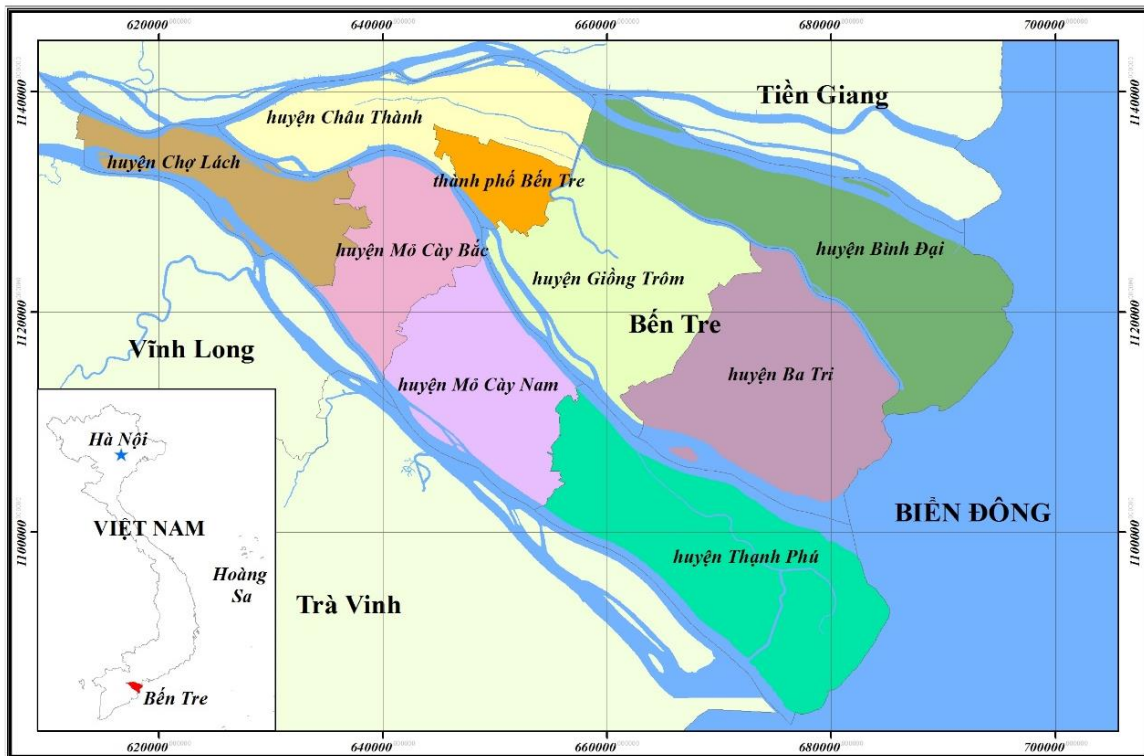
(5) Kết quả dự báo thay đổi sử dụng đất từ các mô hình toán đòi hỏi số liệu KT-XH và dữ liệu điều kiện tự nhiên, sự thay đổi lớp phủ bề mặt đất trong lịch sử và hiện tại cùng với dữ liệu thể hiện các yếu tố tác động do BĐKH. Do đó, tính khả dụng của mô hình cơ sở dữ liệu GIS phải nhất quán theo không gian, thời gian và mức độ tác động. Phần lớn các địa phương sử dụng các phần mềm như ArcGIS hay QGIS (mã nguồn mở) kết hợp với mô hình dự báo thay đổi sử dụng đất phục vụ phân tích, đánh giá và dự báo trên cơ sở các yếu tố hiện trạng và quy hoạch, ít đề cập đến xu thế biến động cũng như thẩm định kết quả đánh giá, để có sự điều chỉnh và kết hợp các mô hình theo tỷ lệ và khu vực nghiên cứu khác nhau. Trong khi đó, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến sử dụng đất tại Việt Nam là rất đa dạng. Do đó, cần phải xây dựng bộ tiêu chí đánh giá tác động của BĐKH đến tài nguyên đất đai và các biện pháp thích ứng. Đặc biệt, đối với các tỉnh thuộc Đồng bằng sông Cửu Long chịu tác động nặng nề do nước biển dâng, gây xâm nhập mặn sâu vào nội đồng ảnh hưởng đến diện tích và cơ cấu sử dụng đất nông nghiệp.

Các nghiên cứu ứng dụng GIS, RS và mô hình toán cho thấy khả năng ưu việt của từng công nghệ. Nhiều dự án và công trình được triển khai với kết quả được công bố trên các tạp chí khoa học uy tín. Trên cơ sở đó đề tài đề xuất giải pháp mới trong ứng dụng GIS, RS và mô hình toán, nhằm giám sát thay đổi sử dụng đất cho tỉnh Bến Tre trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Đồng thời, tạo cơ sở khoa học để nhân rộng giải pháp cho những các tỉnh khác thuộc đồng bằng sông Cửu Long, hỗ trợ công tác lập quy hoạch kế hoạch sử dụng đất thích ứng với các kịch bản khác nhau trong điều kiện biến đổi khí hậu.

### 1.5. Tổng quan vùng nghiên cứu

Bến Tre là tỉnh thuộc vùng Đồng bằng sông Cửu Long (09 đơn vị hành chính, bao gồm 01 thành phố Bến Tre và 08 huyện Châu Thành, Bình Đại, Giồng Trôm, Chợ Lách, Thạnh Phú, Mỏ Cày Nam, Mỏ Cày Bắc, Ba Tri với tổng cộng 157 đơn vị hành chính cấp xã, gồm 142 xã, 8 phường và 7 thị trấn.) với tổng diện tích tự nhiên 237.970,38 ha, là nơi giao hội của 2 tuyến giao thông quan trọng của vùng là Quốc lộ 60 và Quốc lộ 57. Địa bàn nằm trên ba cù lao là cù lao An Hóa, cù lao Bảo, cù lao Minh và do phù sa của bốn nhánh sông Cửu Long bồi tụ nên (gồm sông Tiền dài 83 km, sông Ba Lai dài 59 km, sông Hàm Luông dài 71 km, sông Cổ Chiên dài 82 km).

Tỉnh Bến Tre có tọa độ địa lý nằm trong giới hạn từ 9<sup>o</sup>48' đến 10<sup>o</sup>20' vĩ độ Bắc và từ 105<sup>o</sup>57' đến 106<sup>o</sup>48' kinh độ Đông. Phía Bắc giáp tỉnh Tiền Giang; Phía Tây và phía Tây Nam giáp tỉnh Vĩnh Long; Phía Nam giáp tỉnh Trà Vinh; Phía Đông giáp biển Đông thể hiện trong **Hình 1.8**.



**Hình 2.8. Sơ đồ vị trí vùng nghiên cứu**

Với vị trí tiếp giáp vùng Kinh tế trọng điểm phía Nam, chỉ cách thành phố Hồ Chí Minh 86 km, có hệ thống giao thông đường thủy với 4 sông chính hướng ra biển Đông và hệ thống kênh, rạch là các trục giao thông đối ngoại quan trọng gắn kết Bến Tre với các tỉnh vùng Đồng bằng sông Cửu Long và vùng Kinh tế trọng điểm phía Nam, rất thuận lợi cho việc

phát triển các lĩnh vực kinh tế xã hội. Đặc biệt, kể từ khi được Chính phủ quan tâm đầu tư xây dựng các cầu: Rạch Miễu (năm 2008), Hàm Luông (năm 2010) và Cổ Chiên (năm 2015), đã phá thế cô lập về giao thông đường bộ giúp tiềm năng kinh tế xã hội của Bến Tre được khơi dậy và phát triển mạnh mẽ.

- Bến Tre có vị trí địa lý tương đối thuận lợi, nằm sát vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, thuận lợi về giao thông thủy và trong bối cảnh liên tuyến cầu Rạch Miễu, cầu Hàm Luông, cầu Cổ Chiên nối liền các vùng kinh tế, Bến Tre có nhiều lợi thế trong việc sử dụng tài nguyên thiên nhiên, phát triển sản xuất hàng hóa và dịch vụ, mở rộng thị trường tiêu thụ, tăng cường khả năng hợp tác kinh tế - văn hóa với các tỉnh trong vùng, đặc biệt là với thành phố Mỹ Tho, thành phố Hồ Chí Minh và vùng kinh tế trọng điểm phía Nam.

### **1.5.1. Địa hình**

Địa hình tỉnh Bến Tre có độ cao trung bình từ 1 - 2 mét so với mực nước biển, thấp dần từ Tây Bắc xuống Đông Nam, độ cao chênh lệch khá lớn, tối đa là 3,5 mét. Nhìn chung, địa hình Bến Tre thích hợp cho sản xuất nông nghiệp trên quy mô lớn. Đồng thời, đường bờ biển có khuynh hướng bồi thêm theo hướng Đông – Đông Nam tại các cửa sông Ba Lai và Cổ Chiên do tác động tổng hợp giữa các dòng hải lưu ven bờ và phù sa sông đổ ra biển. Tốc độ bình quân lấn biển hàng năm 9,25 km<sup>2</sup>. Tuy nhiên, địa hình bị sông rạch chia cắt mạnh, có nhiều vùng trũng, nền đất yếu khả năng chịu lực kém đòi hỏi chi phí gia cố nền móng cao đối với các công trình xây dựng, công trình giao thông.

### **1.5.2. Khí hậu**

Nằm trong miền khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo và nằm ngoài ảnh hưởng của gió mùa cực đới nên nhiệt độ cao, ít biến đổi trong năm, tháng nóng nhất và tháng ít nóng nhất chênh nhau khoảng 3 - 4<sup>0</sup>C. Khí hậu có sự phân hóa theo 2 mùa rõ rệt: Mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 11) và mùa khô (từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau).

- *Nhiệt độ*: Bến Tre nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa khá ôn hòa nên nền nhiệt độ trung bình tương đối cao và ổn định. Nhiệt độ bình quân hàng năm giai đoạn 2010-2019 dao động quanh mức 27,1 - 27,7<sup>0</sup>C. Nhiệt độ cao nhất trong năm vào khoảng tháng 4 hoặc tháng 5 và nhiệt độ thấp nhất trong năm khoảng tháng 01 hoặc tháng 12.

- *Độ ẩm*: Độ ẩm trung bình năm khá cao (>80%). Trong giai đoạn 2010-2019, độ ẩm trung bình năm chủ yếu dao động ở mức 81-84%, riêng năm 2014 lên 89% và năm 2015 là 87%. Độ ẩm cao thường tập trung vào các tháng mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 11 hàng năm). Độ ẩm thấp tập trung vào các tháng mùa nắng (từ tháng 12 đến tháng 4 hàng năm).

- *Hướng gió*: Chịu ảnh hưởng của chế độ gió mùa, hướng gió thịnh hành trong mùa mưa là hướng Tây - Tây Nam thường xuất hiện trong mùa mưa (tháng 5 – 9), tốc độ trung

bình 1,0 - 2,2 m/s, (vùng biển 2,0 - 3,9 m/s), tốc độ tối đa là 10 – 18 m/s (vùng biển 12 – 20 m/s). Sang tháng 10, tháng 11 cuối mùa mưa thì gió chuyển tiếp yếu hơn 1,0 - 1,1 m/s (vùng biển 2,0 - 2,2 m/s). Đầu mùa khô gió chuyển hướng từ Bắc đến Đông Bắc sau đó từ Đông Bắc đến Đông Nam để rồi cuối mùa khô chủ yếu có hướng Đông đến Đông Nam với tốc độ gió bình quân mùa khô 1,0 - 1,8 m/s (vùng biển 2,0 - 4,7 m/s) với chỉ số mạnh nhất 7 - 14m/s (vùng biển 10 - 15 m/s).

- *Mưa*: Bến Tre có lượng mưa trung bình năm khá phong phú. Lượng mưa phân hóa thành hai mùa rõ rệt; mùa mưa từ tháng 5 – 11 và mùa nắng từ tháng 12 – 4. Tổng lượng mưa trong mùa mưa chiếm 90-93% lượng mưa cả năm. Trong giai đoạn 2010-2019, lượng mưa trung bình hàng năm khoảng 1.400 – 1.500 mm/năm, ngoại trừ năm 2010 có tổng lượng mưa cao hơn 2.000 mm và năm 2015 với thời tiết cực đoan với lượng mưa chỉ bằng 1/3 lượng mưa bình quân hàng năm (995 mm). Lượng mưa ít vào mùa khô cùng với gió Đông Nam làm cho mặn xâm nhập sâu vào nội đồng.

- *Tổng số giờ nắng*: Tổng số giờ nắng trung bình giai đoạn 2010-2019 là khoảng 2.328 giờ. Các năm 2012, 2014, 2015 và 2016 có giờ nắng cao hơn tổng số giờ nắng trung bình cả giai đoạn, trong đó đặc biệt năm 2015 với thời tiết cực đoan có số giờ nắng rất cao (2.702 giờ, trung bình 7,4 giờ/ngày).

### 1.5.3. Thủy hải văn

*Hệ thống sông rạch*: Hệ thống sông, rạch vừa là nguồn cung cấp nước ngọt phong phú, phục vụ sinh hoạt và sản xuất của người dân, phát triển du lịch sinh thái, nhưng cũng là nguyên nhân làm gia tăng tình trạng xâm nhập mặn vào mùa khô. Hệ thống sông rạch Bến Tre bao gồm các sông chính như sau: Sông Mỹ Tho là tên gọi của một đoạn sông Tiền, bắt đầu từ chỗ phân nhánh ở đầu cù lao Minh, ngang Vĩnh Long cho đến cửa Đại (riêng đoạn từ cồn Tàu ra đến biển còn có tên là sông Cửa Đại). Sông Mỹ Tho chảy suốt theo chiều dọc của tỉnh, dài 90km, làm thành ranh giới tự nhiên giữa tỉnh Bến Tre và Tiền Giang. Lưu lượng nước vào mùa lũ khoảng 6.480m<sup>3</sup>/s; vào mùa khô khoảng 1.598m<sup>3</sup>/s. Sông Cổ Chiên nằm ở phía Nam tỉnh Bến Tre, có chiều dài khoảng 80km, làm thành ranh giới tự nhiên giữa tỉnh Bến Tre và hai tỉnh Vĩnh Long, Trà Vinh. Lưu lượng nước vào mùa lũ khoảng 6.000m<sup>3</sup>/s. Sông Ba Lai tách ra khỏi sông Tiền tại cồn Dơi, chảy ra biển qua cửa Ba Lai, có chiều dài 55km. Lưu lượng nước vào mùa lũ khoảng 240m<sup>3</sup>/s, vào mùa khô (từ tháng 12 đến tháng 5 năm sau) khoảng 59 m<sup>3</sup>/s. Sông Hàm Luông tách ra từ sông Tiền tại xã Tân Phú, huyện Châu Thành, làm ranh giới tự nhiên giữa cù lao Bảo và cù lao Minh, dài 70km. Lòng sông sâu từ 12 – 15m, rộng trung bình từ 1.200 đến 1.500 m, đoạn gần cửa biển rộng đến hơn 3.000m. Vào mùa lũ, lưu lượng nước vào khoảng 3.360m<sup>3</sup>/s, mùa khô khoảng 828m<sup>3</sup>/s. Ngoài bốn con sông chính trên, Bến Tre còn có một mạng lưới sông, rạch, kênh đào chằng chịt nối liền nhau, tạo thành

một mạng lưới giao thông và thủy lợi rất thuận tiện. Trên địa bàn tỉnh có hàng trăm sông, rạch và kênh, trong khi đó có trên 60 con sông, rạch, kênh rộng từ 50 – 100m.

*Thủy triều:* Vùng biển Bến Tre thuộc phạm vi khu vực bán nhật triều không đều. Hầu hết các ngày đều có 2 lần nước lên, 2 lần nước xuống. Chênh lệch giữa đỉnh – chân triều những ngày triều lớn có thể từ 2,5 tới 3,5m. Chênh lệch giữa đỉnh – chân triều những ngày triều kém thường dưới hoặc xấp xỉ 1 m. Biên bộ hằng ngày kỳ triều cường thường lớn gấp 1,5 lần đến 2 lần kỳ triều kém, song với vùng bán nhật triều điều chênh lệch này không lớn.

*Xâm nhập mặn:* Do Bến Tre nằm ở vùng cửa sông ven biển chịu ảnh hưởng của triều, gió chướng, sóng... nên tỉnh Bến Tre bị mặn xâm nhập nghiêm trọng, nhất là trong mùa khô. Độ mặn của nước biển thiên theo từng tháng do ảnh hưởng phối hợp của thủy triều và lưu lượng nước thủy triều đổ về. Hàng năm vào mùa khô, mặn theo dòng triều xâm nhập sâu vào các sông chính trong tỉnh, gây thiệt hại ít nhiều đến sản xuất và đời sống. Triều biển Đông đẩy mạnh vào sâu trên các sông, mặn theo triều nên một ngày cũng thường xuất hiện 2 đỉnh mặn và 2 chân mặn. Trị số đỉnh mặn và chân mặn thường xuất hiện sau đỉnh triều và chân triều từ 1 – 3 giờ. Độ mặn xâm nhập trong sông càng về thượng lưu càng giảm. Với sự tác động mạnh mẽ và đồng bộ của 3 nguyên nhân: dòng chảy kiệt của sông Tiền, gió chướng xuất hiện nhiều đợt trong mùa khô, thủy triều biển Đông vào những ngày mùa khô ở mức cao khiến cho sự xâm nhập mặn trên các sông chính sẽ từ mức độ xâm nhập sâu đến rất sâu.

*Nước biển dâng:* Vào mùa mưa bão hàng năm, hiện tượng nước dâng trên các triền sông và kênh rạch trong tỉnh gây khó khăn, thiệt hại nghiêm trọng đến sản xuất, cơ sở vật chất, đời sống nhân dân và phát triển kinh tế ở tỉnh. Hiện tượng nước dâng thường xuất hiện từ giữa mùa mưa đến cuối năm, vào các tháng 8, 9, 10, 11... (tính theo âm lịch) vào giai đoạn các ngày đầu tháng và giữa tháng (mùng 1 và 15): mỗi tháng xuất hiện 2 đợt nước dâng, mỗi đợt kéo dài từ 4 – 7 ngày, ngày 2 lần, mỗi lần kéo dài khoảng 3 giờ.

#### **1.5.4. Tài nguyên thiên nhiên**

- Nguồn tài nguyên nông - ngư nghiệp trên địa bàn tỉnh đa dạng và phong phú, có nhiều điều kiện thuận lợi để phát triển một nền nông nghiệp toàn diện và tạo nền tảng nguyên liệu phát triển các ngành công nghiệp chế biến và thương mại dịch vụ.

- Trên vùng ngọt, đất đai phần lớn thuộc nhóm đất phù sa có độ phì cao, phổ thích nghi rộng, chủ động tưới theo triều, hội tụ khá đầy đủ điều kiện trở thành địa bàn phát triển kinh tế vườn, dừa, sản xuất hoa kiểng, giống cây ăn trái.

- Ngoài ra lợi thế về du lịch sinh thái, lịch sử văn hoá, các di tích và lễ hội lớn cùng với điều kiện môi trường cơ bản còn trong sạch sẽ là lợi thế để thu hút khách tham quan du lịch.

- Tuy nhiên, vị trí và địa hình bị chia cắt bởi hệ thống sông ngòi chằng chịt, gây khó khăn trong phát triển đô thị, giao lưu kinh tế và tổn kém trong việc đầu tư hệ thống thủy lợi. Phần lớn nền đất chịu lực kém, gây tổn kém trong việc xây dựng các kết cấu hạ tầng kinh tế, hạ tầng xã hội.

Dựa vào phân loại đất Việt Nam, trên địa bàn tỉnh Bến Tre có 5 nhóm đất và 19 loại đất (đơn vị bản đồ đất). Diện tích (ha) và cơ cấu các đơn vị đất đai (%) được thể hiện như sau:

**Bảng 2.2. Các nhóm và loại đất ở tỉnh Bến Tre**

STT	Tên đất	Ký hiệu	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
1	Đất cát giồng chưa phân hóa	Cz1	2.639	1,10
2	Đất cát giồng đã phân hóa phẫu diện	Cz2	7.328	3,06
3	Đất mặn sú vẹt đước	Mm	23.674	9,89
4	Đất mặn nhiều	Mn	15.949	6,66
5	Đất mặn trung bình và ít	M	20.269	8,46
6	Đất phèn tiềm tàng nông mặn	Sp1M	110	0,05
7	Đất phèn tiềm tàng sâu mặn	Sp2M	173	0,07
8	Đất phèn hoạt động nông, mặn	Sj1M	2.364	0,99
9	Đất phèn hoạt động sâu, mặn	Sj2M	2.485	1,04
10	Đất phèn hoạt động nông	Sj1	1.374	0,57
11	Đất phèn hoạt động sâu	Sj2	424	0,18
12	Đất phù sa đước bồi	Pb	19	0,01
13	Đất phù sa không đước bồi	P	487	0,20
14	Đất phù sa có tầng gley	Pg	1.392	0,58
15	Đất phù sa có tầng loang lổ	Pf	10.229	4,21
16	Đất phù sa trên nền cát biển	P/c	284	0,17
17	Đất lên liếp trên nền phèn	Ns	36.116	15,08
18	Đất lên liếp trên nền phù sa	Np	68.576	28,64
19	Đất lên liếp trên nền mặn	Nm	8.388	3,50
20	Sông, rạch (*)		37.202	15,53
<b>TỔNG DIỆN TÍCH TỰ NHIÊN</b>			<b>237.970</b>	<b>100</b>

(Nguồn: Bản đồ đất tỉnh Bến Tre – Phân viện quy hoạch và TKNN)

Ngoài đất nhân tác (đất lập liếp) chiếm gần 40% và sông rạch (15,53%) diện tích tự nhiên, còn lại nhóm đất phù sa và nhóm đất mặn chiếm tỷ lệ lớn (bao gồm nhiều loại hình đất do đặc điểm hình thành đất ở vùng này) thể hiện trong Bảng 1.2 tập trung chủ yếu tại các huyện Ba Tri, Bình Đại và huyện Thạnh Phú. Trong khi đó, đất phèn và đất cát chỉ chiếm tỷ lệ nhỏ và phân bố cục bộ ở một số khu vực đặc trưng.

## KẾT LUẬN CHƯƠNG I

Nằm ở vị trí cuối nguồn của hệ thống sông Mê Kông, tỉnh Bến Tre có hệ sinh thái đa dạng gồm mặn, lợ và ngọt tạo điều kiện thuận lợi trong phát triển kinh tế vườn và kinh tế biển. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, Bến Tre được đánh giá là một trong những tỉnh chịu ảnh hưởng nặng nề của hạn hán, xâm nhập mặn, nước biển dâng và biến đổi khí hậu. Trước tình hình đó diện tích các loại cây trồng kém hiệu quả được người dân chuyển đổi sang các loại hình sử dụng đất khác mang lại hiệu quả cao hơn. Việc sắp xếp lại sản xuất nông nghiệp thông qua hình thức điều chỉnh kế hoạch sử dụng đất liên quan đến đất nông nghiệp đã làm thay đổi nhanh chóng lớp phủ bề mặt đất. Việc phát hiện kịp thời và chính xác biến động lớp phủ hỗ trợ cho sự hiểu biết tốt hơn về mối quan hệ và sự tương tác giữa con người với các hiện tượng tự nhiên, từ đó đưa ra các quyết định hợp lý cho sử dụng và quản lý tài nguyên thiên nhiên.

Qua tổng quan các kết quả nghiên cứu trên thế giới và tại Việt Nam cho thấy việc đánh giá thay đổi sử dụng đất ở các cấp độ vùng và địa phương theo thời gian là cần thiết nhằm phục vụ phát triển bền vững. Ngày nay, viễn thám và hệ thống thông tin địa lý được sử dụng thay thế hoặc bổ sung cho các phương pháp truyền thống trong quản lý biến động sử dụng đất. Sử dụng viễn thám để phân loại và đánh giá lớp phủ đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, trong đó có ứng dụng công nghệ viễn thám để thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất thông qua biến động lớp phủ mặt đất. Ảnh vệ tinh Landsat là một trong những nguồn tư liệu ảnh quang học cung cấp thông tin bề mặt trái đất với tính chất bao phủ rộng, thông tin khách quan và lặp lại theo chu kỳ. Cho phép người sử dụng đánh giá tình hình và xu hướng biến động sử dụng đất một cách liên tục. Việc kết hợp kỹ thuật GIS và viễn thám sẽ cung cấp tối đa nội dung thông tin và các khả năng phân tích, và do đó sẽ giúp ích cho các nhà quy hoạch sử dụng đất có thể lập các quyết định tương ứng. Tích hợp GIS, RS và mô hình toán là một hướng nghiên cứu rất hữu ích trong giám sát phân tích và dự báo thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh BĐKH.

## CHƯƠNG 2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

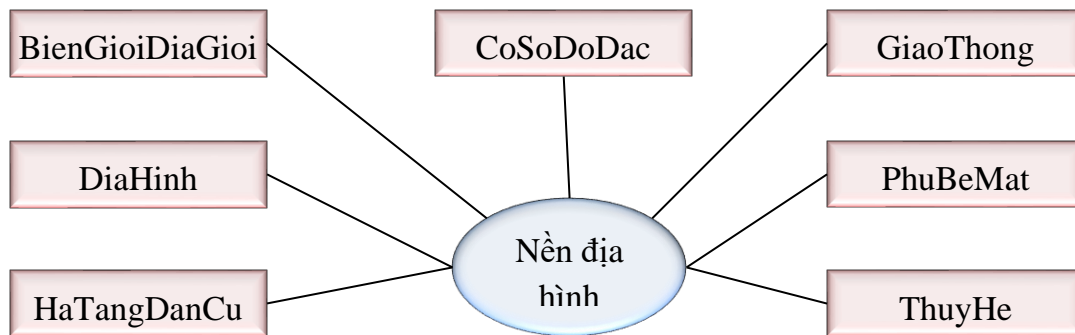
### 2.1. Dữ liệu và phần mềm sử dụng

#### 2.1.1. Dữ liệu

Dữ liệu đầu vào được thu thập và quản lý theo mô hình Cơ sở dữ liệu GIS nhằm cung cấp thông tin liên quan đến sử dụng đất cho Tỉnh Bến Tre. Bộ Cơ sở dữ liệu được xây dựng trên nền tảng dữ liệu hiện có bao gồm các lớp dữ liệu: điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội, môi trường, sử dụng đất, khí tượng và thủy văn. Ngoài ra, số liệu thống kê và dữ liệu khảo sát cũng được thu thập nhằm cập nhật các dữ liệu cần thiết cho việc phân tích tình hình thay đổi sử dụng đất. Ảnh viễn thám có độ phân giải không gian phù hợp được thu thập, tiền xử lý, phân loại và cập nhật vào Cơ sở dữ liệu GIS nhằm thành lập bản đồ hiện trạng, phân tích xu thế và đánh giá biến động.

#### ❖ Cơ sở dữ liệu nền GIS:

Dữ liệu địa hình thu thập từ Bộ TN&MT và Sở TN&MT tỉnh Bến Tre, sử dụng làm dữ liệu nền tham chiếu để xây dựng các dữ liệu chuyên đề. Các nhóm lớp dữ liệu địa hình được xây dựng theo Quy định kỹ thuật về mô hình cấu trúc, nội dung CSDL nền địa lý tỷ lệ tương ứng do Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành theo Thông tư số 15/2020/TT-BTNMT ngày 30/11/2020.



**Hình 2.1. Minh họa CSDL nền địa hình**

**Nguồn: Thông tư 15/2020/TT-BTNMT**

Trong 07 nhóm lớp thể hiện ở **Hình 2.1**, có thể tạo thêm mô hình DEM (Digital elevation model) để thể hiện độ cao bề mặt địa hình. Ngoài ra, dữ liệu nền dạng raster được tạo thêm từ dữ liệu ảnh viễn thám đa thời gian được thu thập từ các ảnh LandSat, ảnh hàng không hay UAV. Lớp BienGioiDiaGioi được sử dụng để tách đơn vị hành chính khu vực nghiên cứu gồm 3 huyện (huyện Ba Tri, huyện Bình Đại và huyện Thạnh Phú) đã được cập nhật theo ranh giới hành chính mới nhất. Lớp DiaHinh thể hiện điểm độ cao và các yếu tố địa mạo làm cơ sở xác định các điểm khảo sát. Lớp HaTangDanCu thể hiện các yếu tố hạ tầng



kỹ thuật và phân bố dân cư nhà ở rải rác và tập trung. Lớp GiaoThong thể hiện mạng lưới giao thông các cấp đã được cập nhật mới nhất. Lớp PhuBeMat thể hiện các dạng lớp phủ bề mặt và sử dụng đất các loại. Lớp ThuyHe thể hiện hệ thống sông rạch, kênh thủy lợi và mặt nước ven biển. Lớp CoSoDoDac thể hiện các mốc địa chính các cấp.

#### ❖ Cơ sở dữ liệu chuyên đề

Các dữ liệu chuyên đề về khí tượng, thủy văn dùng để phân tích và đánh giá những thay đổi về lượng mưa, nhiệt độ, dòng chảy; chuyên đề về ảnh viễn thám dùng để xây dựng bản đồ và đánh giá biến động lớp phủ và thay đổi các loại hình sử dụng đất; Ngoài ra, CSDL chuyên đề còn được xây dựng từ các bản đồ và dữ liệu tác nghiệp chuyên ngành theo đặc thù của từng đơn vị quản lý liên quan đến hiện trạng sử dụng đất, quy hoạch sử dụng đất, giao thông, thổ nhưỡng, địa chất,... có tỷ lệ tương thích với dữ liệu nền tham chiếu, để đảm bảo tính kết nối và chia sẻ thông tin. Tất cả dữ liệu khi đưa vào CSDL GIS cần phải được gắn kết thông tin siêu dữ liệu (Metadata) rất cần thiết để tra cứu tìm kiếm thông tin trong CSDL bao gồm: Tên dữ liệu, loại / nhóm dữ liệu, mô tả dữ liệu, nguồn gốc, chất lượng, quyền sở hữu dữ liệu.

Các bản đồ chuyên đề các yếu tố tác động được tổng hợp và biên tập theo đúng chuẩn dữ liệu của mô hình Land Change Modeler và MOLUSCE bao gồm: Bản đồ EC trong đất (bản đồ độ mặn) được thành lập bằng phương pháp viễn thám thông qua sử dụng thuật toán mô phỏng lan truyền mặn trong đất; Bản đồ hạn hán (khô hạn) được xây dựng bằng phương pháp viễn thám trên cơ sở xác định mối quan hệ giữa nhiệt độ bề mặt và thực vật; Bản đồ nhiệt độ trung bình, lượng mưa trung bình và mức độ ngập lụt được xây dựng dựa vào dữ liệu trong kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre năm 2020.

#### ❖ Dữ liệu viễn thám

Hiện nay có rất nhiều loại ảnh viễn thám giám sát tài nguyên khác nhau như ảnh MODIS, Landsat, Sentinel, VNRedsat1, Spot, Ikonos, Quickbird,... tùy vào mục đích sử dụng và tỷ lệ thành lập bản đồ khác nhau mà việc chọn loại ảnh viễn thám với độ phân giải không gian và thời gian khác nhau. Ảnh được tải miễn phí bao gồm MODIS, Landsat và Sentinel. Tuy nhiên, ảnh Landsat với độ phân giải không gian trung bình thu nhận từ sau năm 1972, nên phù hợp cho việc thành lập bản đồ lớp phủ theo tỷ lệ bản đồ và quy mô diện tích trên địa bàn tỉnh Bến Tre. Ngoài ra, còn đáp ứng được khoảng thời gian lựa chọn trong đánh giá biến động cho từng giai đoạn 5 hay 10 năm trong quá khứ và cập nhật đến hiện tại. Với ưu điểm nêu trên, ảnh Landsat đa thời gian đã được sử dụng rộng rãi trong thành lập bản đồ và đánh giá biến động lớp phủ và được cung cấp bởi Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (United States Geological Survey - USGS) tải từ website: <http://earthexplorer.usgs.gov>.

**Bảng 2.1. Nguồn tài liệu sử dụng**

STT	Tên tài liệu	Nguồn	Mục đích
1	Ảnh Landsat 1999,2009,2019	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	Lập bản đồ sử dụng đất
2	Kiểm kê đất đai năm 2019 tỉnh Bến Tre	Sở Tài nguyên & Môi trường tỉnh Bến Tre - Kiểm kê đất đai năm 2019	Đánh giá hiện trạng sử dụng đất năm 2019
3	Điều tra thoái hóa đất kỳ đầu	Sở Tài nguyên & Môi trường tỉnh Bến Tre	Đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố nhiệt độ, lượng mưa, mực nước biển dâng với thay đổi sử dụng đất
4	Niên giám thống kê tỉnh Bến Tre các năm 2009 - 2019	Cục Thống kê tỉnh Bến Tre	Đánh giá ảnh hưởng của các điều kiện Kinh tế - xã hội đến sự thay đổi sử dụng đất

Các ảnh vệ tinh Landsat và bản đồ sử dụng đất kiểm kê qua thời điểm các năm 1999, 2009, và năm 2019 được thu thập và xử lý theo quy trình xử lý ảnh và được phân thành 7 loại lớp phủ tương ứng. Trong đó các ảnh năm 1999 và 2009 được sử dụng để mô phỏng sử dụng đất năm 2019. Ảnh mô phỏng sử dụng đất năm 2019 sẽ được so sánh với ảnh giải đoán năm 2019 nhằm đánh giá độ chính xác mô phỏng phục vụ cho việc kiểm định mô hình.

**Bảng 2.2. Thông tin ảnh Landsat sử dụng trong nghiên cứu**

STT	File ảnh	Thời gian thu ảnh	Số kênh	Nguồn
1	LT05_L1TP_125053_19990115	15/01/1999	7	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
2	LT05_L1TP_125053_20090309	09/03/2009	7	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
3	LC08_L1TP_125053_20190119	19/01/2019	11	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>

### 2.1.2. Phần mềm và mô hình sử dụng

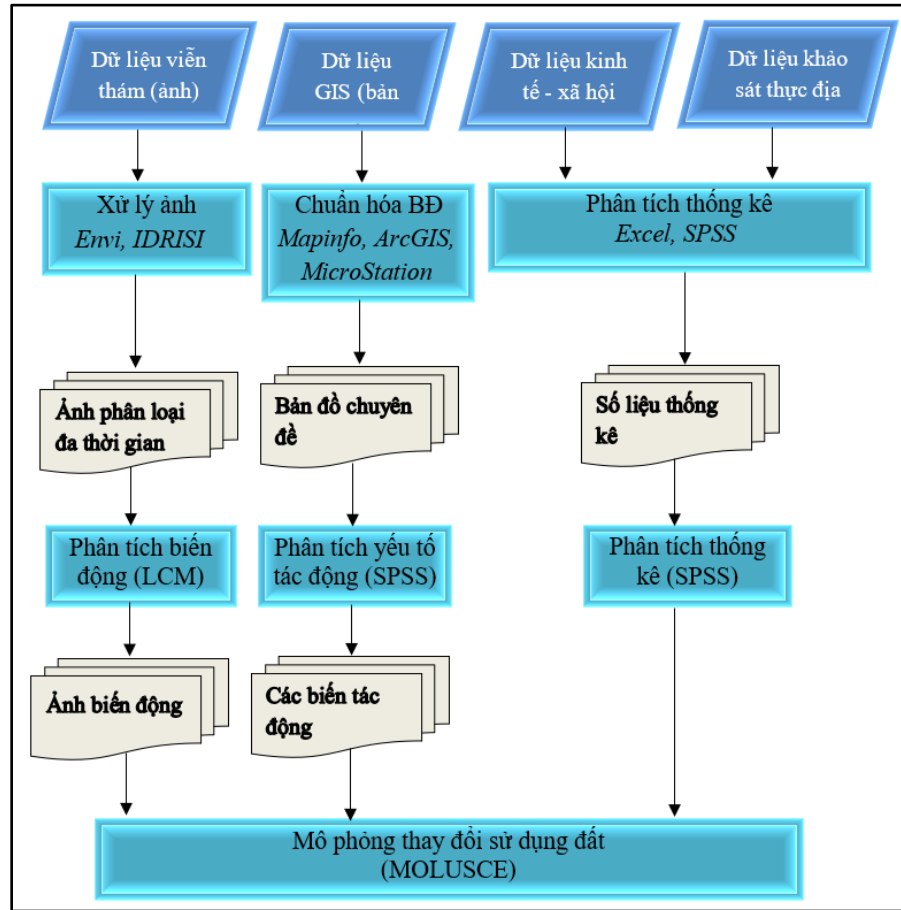
Phần mềm và mô hình toán được sử dụng trong việc tạo giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre bao gồm:

- Phần mềm Envi 5.2: Để xử lý ảnh vệ tinh Landsat 5,7 và 8.
- Phần mềm Mapinfo 12.0: để xử lý và biên tập bản đồ chuyên đề các yếu tố tác động
- Phần mềm IDRISI Selva tích hợp mô hình Land Change Modeler và CA-Markov để phân tích thay đổi sử dụng đất.
- MOLUSCE: Là mô hình mô phỏng thay đổi sử dụng đất được áp dụng kết hợp với phần mềm mã nguồn mở (QGIS) cho phép đánh giá và kiểm định mô hình, cũng như phân tích không gian và thống kê đổi sử dụng đất theo thời gian.
- Phần mềm thống kê (SPSS 20) được sử dụng để xác định mức độ tương quan giữa thay đổi sử dụng đất với các yếu tố tác động.

### 2.1.3. Quy trình xử lý dữ liệu

Để tạo giải pháp toàn diện trong tích hợp công nghệ GIS-RS và mô hình toán hỗ trợ giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu của tỉnh Bến Tre. Dữ liệu ảnh viễn thám đa thời gian cần được phân loại để thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất tại các thời kỳ khác nhau và phân tích đánh giá biến động sử dụng đất theo các kịch bản BĐKH là rất cần thiết. Quy trình được đề xuất cho việc xử lý dữ liệu viễn thám đa thời gian trong thành lập bản đồ phục vụ việc ứng dụng mô hình LCM trong phân tích biến động giữa các loại đất, làm cơ sở cho mô phỏng thay đổi sử dụng đất bằng MOLUSCE với các biến tác động thống nhất với cơ sở dữ liệu GIS được mô tả như Hình 2.2.

Theo đó dữ liệu viễn thám được xử lý bằng phần mềm Envi, IDRISI để tạo ảnh phân loại sử dụng đất đa thời gian để làm dữ liệu đầu vào phân tích biến động bằng phần mềm LCM nhằm tạo ra ảnh biến động và tiềm năng chuyển đổi. Đây sẽ là nguồn dữ liệu đầu vào cho mô hình MOLUSCE để mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong tương lai. Dữ liệu GIS bao gồm các bản đồ như: bản đồ địa hình, bản đồ đơn vị hành chính, bản đồ phân bố nhiệt độ, lượng mưa và các loại bản đồ chuyên đề khác được chuẩn hóa về cấu trúc, định dạng dữ liệu cũng như hệ tọa độ VN2000. Các bản đồ này được chèn xếp để lấy thông tin điểm mẫu phục vụ phân tích hồi quy để lượng hóa các biến tác động là các hệ số điều chỉnh trong mô hình mô phỏng MOLUSCE. Dữ liệu kinh tế xã hội và các dữ liệu điều tra thực địa sẽ được xử lý tổng hợp trong phần mềm Excel và SPSS phục vụ phân tích thống kê.



**Hình 2.2. Quy trình xử lý dữ liệu**

Xác định ranh giới khu vực và các yếu tố tác động dựa trên dữ liệu GIS. Dữ liệu ảnh viễn thám đa thời gian, được đăng hình ký hình học ảnh theo hệ tham chiếu tọa độ VN2000 để phân tích và phân loại theo chuẩn thống nhất với cơ sở dữ liệu GIS, để ứng dụng mô hình LCM trong phân tích biến động. cũng như cung cấp dữ liệu và số liệu về các biến tác động để mô phỏng thay đổi sử dụng đất bằng MOLUSCE.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu cho tỉnh Bến Tre, phương pháp luận được đề xuất trên cơ sở khoa học tích hợp dữ liệu GIS với ảnh Viễn thám Landsat đa thời gian (20 năm: từ 1999 đến 2019) để phân tích đánh giá thay đổi các loại hình sử dụng đất, do các yếu tố tác động (thích nghi tự nhiên, tác động của chính sách và kế hoạch kinh tế - xã hội; cũng như những ảnh hưởng do khô hạn, xâm nhập mặn, ngập lụt theo các kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5. Từ kết quả phân tích xu thế biến động trong lịch sử, đánh giá tình hình quản lý, để dự báo thay đổi sử dụng đất cho các năm 2029, 2039 và 2049 để định hướng sử dụng đất bền vững thích ứng với BĐKH tỉnh Bến Tre.

Trên cơ sở khoa học sử dụng đất (Land use science), Luận án đã cụ thể hóa giải pháp đề xuất cho tỉnh Bến Tre dựa trên việc khai thác cơ sở dữ liệu GIS tích hợp với mô hình LCM và MOLUSCE trong thành lập bản đồ tiềm năng thay đổi sử dụng đất. Sản phẩm góp phần tạo cơ sở khoa học trong việc dự báo và mô phỏng thay đổi sử dụng đất theo các yếu tố tác động chủ yếu của BĐKH. Các tham số của mô hình LCM và MOLUSCE đã được hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy sự phù hợp không gian khá tốt theo bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2019. Kết quả cho phép sử dụng mô hình đề xuất để mô phỏng thay đổi sử dụng đất theo các yếu tố tác động và các kịch bản biến đổi khí hậu RCP4.5 và RCP8.5 để tạo giải pháp định hướng sử dụng đất bền vững thích ứng với BĐKH tỉnh Bến Tre.

### 2.2.1. Ứng dụng GIS và Viễn thám

Để góp phần tạo giải pháp tích hợp GIS và RS trong thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất và phân tích đánh giá biến động. Quy trình được đề xuất cho việc áp dụng ảnh viễn thám đa thời gian trong thành lập bản đồ và phân tích đánh giá biến động được mô tả như Hình 2.3 với các bước chính được tóm tắt như sau:

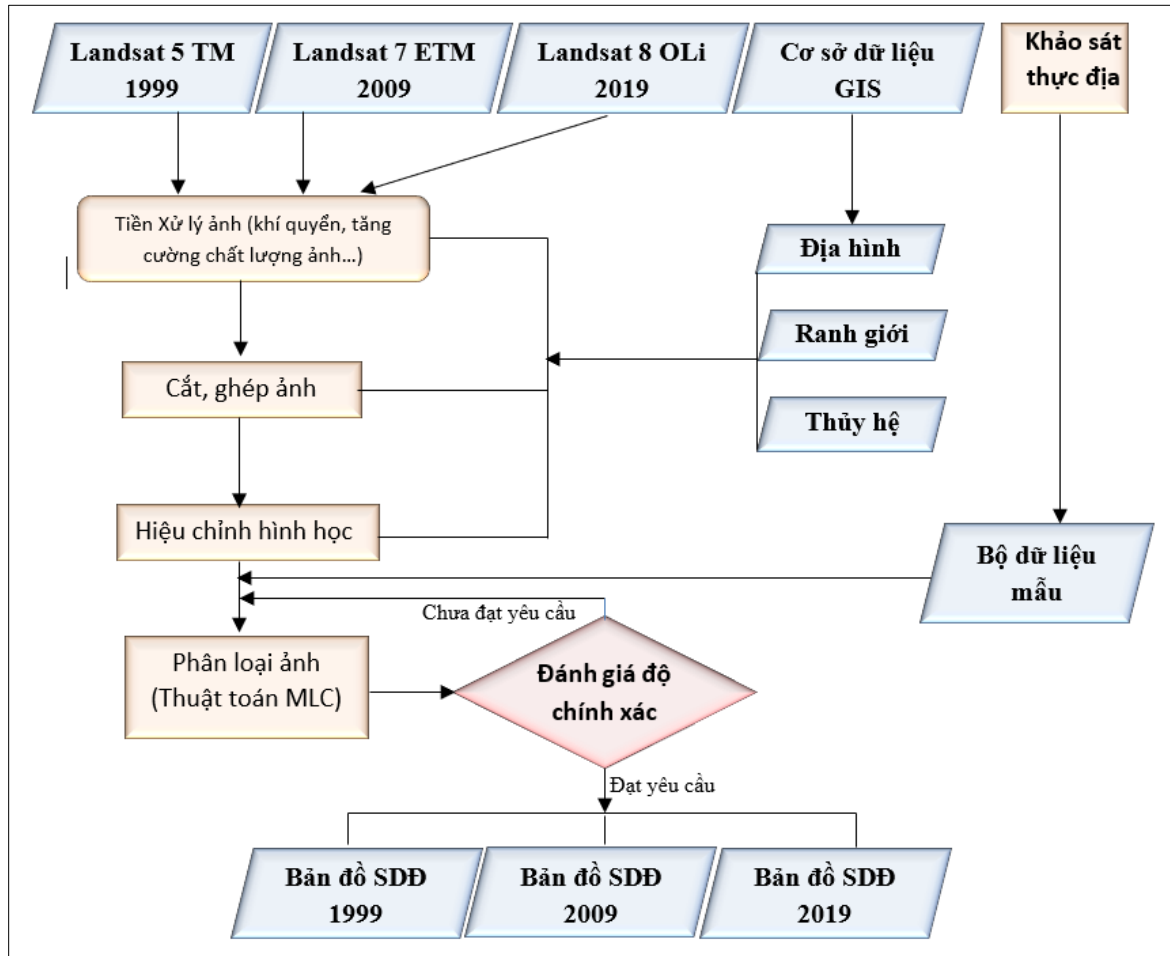
- Ảnh Landsat đa thời gian (từ năm 1999 đến 2019) được xử lý bằng phần mềm ENVI bao gồm: hiệu chỉnh bức xạ loại bỏ ảnh hưởng khí quyển; tăng cường chất lượng ảnh và hiệu chỉnh hình học ảnh theo công cụ đăng ký tọa độ ảnh theo hệ VN2000 phù hợp theo lớp cơ sở toán học của bản đồ nền địa hình lưu trong GIS. Trong đó, lớp dữ liệu hành chính được sử dụng để cắt ảnh Landsat theo vùng cần thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất theo các năm (từ 1999 đến 2019).

- Phân loại ảnh được thực hiện theo phương pháp giám định với thuật toán phân loại chuẩn MLC (Maximum Likelihood Classification). Vì MLC là thuật toán tối ưu theo quan điểm lý thuyết xác suất trong đó, bộ dữ liệu mẫu được xây dựng để phân loại ảnh Landsat gồm 7 loại chính: đất lúa, đất cây lâu năm, đất nuôi trồng thủy sản, đất dân cư – xây dựng, rừng, đất trống và mặt nước (kết hợp cơ sở dữ liệu GIS và khảo sát kiểm tra thực địa).

- Trong phương pháp giám định, yêu cầu xây dựng vùng mẫu bằng cách tạo ROI (Region Of Interest) cho bộ dữ liệu huấn luyện (Training data) sử dụng trong phân loại và dữ liệu kiểm tra hay thẩm tra (Testing - Validation data) trong đánh giá độ chính xác phân loại theo ma trận sai số phân loại. Việc đánh giá thông qua độ chính xác của từng loại hay độ chính xác người dùng (User's Accuracy), độ chính xác thực hiện (Producer's Accuracy), độ chính xác toàn cục (Overall Accuracy) và hệ số Kappa. Ảnh sau phân loại đạt yêu cầu, được sử dụng trong thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất qua các năm: 1999, 2009 và 2019.

- Phân tích biến động, được thực hiện giữa 2 năm để thành lập bản đồ thể hiện sự thay đổi giữa các loại hình sử dụng đất và xác định diện tích chuyển đổi từ loại hình sử dụng đất này sang loại hình sử dụng đất khác. Ngoài ra, để phân tích lịch sử biến động sử dụng đất cho

cả giai đoạn 20 năm. Phân tích biến động được thực hiện từ năm 1999 đến 2019, nhằm xác định xu thế thay đổi giữa các loại hình sử dụng đất và quy luật của các yếu tố tác động làm thay đổi sử dụng đất.


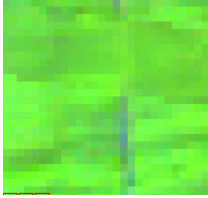





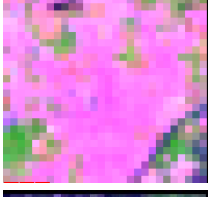

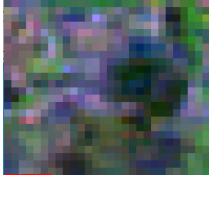


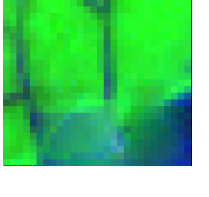
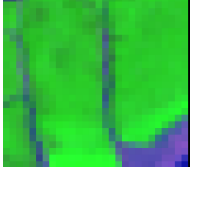

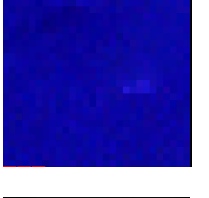
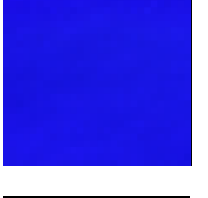






**Hình 2.3. Quy trình thành lập bản đồ sử dụng đất**

Bộ dữ liệu mẫu: phải được xây dựng thống nhất nhằm nâng cao độ chính xác phân loại Ảnh Landsat đa thời gian và đồng bộ trong thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất. Đề xuất xây dựng bộ dữ liệu mẫu trên địa bàn tỉnh Bến Tre dựa vào ảnh tổ hợp màu (band 5-4-3). Khóa giải đoán của mẫu ảnh tương ứng các loại hình sử dụng đất được thể hiện bởi **Bảng 2.3**. Trong đó, màu đặc trưng phổ của mẫu ảnh tương ứng với ảnh thực địa (Ground truth points) được thu thập từ công tác khảo sát kiểm tra thực địa theo toạ độ các vùng mẫu với thiết bị hỗ trợ có hệ thống định vị toàn cầu (GPS).

**Bảng 2.3. Xây dựng bộ dữ liệu mẫu trong phân loại thành lập bản đồ**

TT	Loại hình sử dụng đất	Mẫu ảnh 2009	Mẫu ảnh 2019	Ảnh thực địa	Đặc trưng
----	-----------------------	--------------	--------------	--------------	-----------

1	Đất lúa				Màu xanh dương, có bờ vùng, bờ thửa, cấu trúc mịn, phân bố tập trung.
2	Đất cây lâu năm (dừa)				Màu xanh đậm, có xen kẽ xanh dương. Cấu trúc gợn sóng đặc trưng, phân bố tập trung.
3	Đất Phát triển dân cư				Màu hồng tươi, có cấu trúc mịn, phân bố thành cụm hoặc tuyến có tính phân mảnh cao.
4	Đất Nuôi trồng thủy sản				Màu xanh đen hoặc đen xen kẽ ô màu xám, cấu trúc đốm trên nền đen, phân mảnh.
5	Đất Rừng				Màu xanh dương xen kẽ là màu xanh nước biển (sông, rạch), cấu trúc mịn, phân bố tập trung.
6	Thủy hệ				Màu xanh nước biển đặc trưng, có cấu trúc mịn, phân bố theo hình dạng nhất định
7	Đất trống				Màu trắng xen kẽ màu hồng xanh, cấu trúc đốm xanh hồng trên nền trắng.

### 2.2.2. Ứng dụng mô hình LCM và MOLUSCE

Từ kết quả phân tích biến động ứng dụng GIS và RS, bản đồ thể hiện diện tích thay đổi các loại hình sử dụng đất giữa 2 thời điểm được thành lập. Tuy nhiên, việc chuyển đổi từ loại hình sử dụng đất này sang loại hình sử dụng đất khác phụ thuộc vào nhiều yếu tố tác động như: kinh tế, xã hội, điều kiện tự nhiên và tác động của BĐKH. Do đó, luận án đề xuất ứng dụng mô hình LCM (Land Use Change Evaluation) để tạo bộ công cụ hữu hiệu trong việc đánh giá tác nhân gây thay đổi sử dụng đất, tạo cơ sở dự báo và ứng dụng mô hình mô phỏng

thay đổi sử dụng đất (MOLUSCE) để phân tích sự thay đổi sử dụng đất giữa các khoảng thời gian khác nhau, cũng như xác định tiềm năng chuyển đổi việc sử dụng đất trong tương lai dựa trên đánh giá đa tiêu chí, nhằm tạo giải pháp định hướng sử dụng đất bền vững thích ứng với BĐKH cho tỉnh Bến Tre. Ngoài ra, đề xuất chọn mô hình LCM và MOLUSCE còn nhằm đảm bảo sự phù hợp kỹ thuật, cũng như tính hiệu quả và độ chính xác đạt được trong giám sát sự thay đổi của các loại hình sử dụng đất mang tính khả thi cao để áp dụng mở rộng cho các vùng tương tự chịu ảnh hưởng tác động của BĐKH thuộc đồng bằng sông Cửu Long.

**a. Tính phù hợp kỹ thuật:** Mô hình được vận hành trên nền tảng tích hợp với các kỹ thuật Viễn thám và công nghệ QGIS là phần mềm mã nguồn mở, dễ dàng để tạo cơ sở dữ liệu GIS bao gồm hiện trạng sử dụng đất và các yếu tố tác động được sử dụng để phân tích sự thay đổi sử dụng đất giữa các khoảng thời gian khác nhau bởi mô hình LCM. Kết quả mô phỏng thay đổi sử dụng đất được kiểm định dựa vào bản đồ hiện trạng đã có để thiết lập tham số cần thiết và phù hợp cho mô hình (MOLUSCE) tạo cơ sở dự báo, mô phỏng sử dụng đất cho các thời điểm tương lai dựa trên điều kiện tự nhiên, kinh tế-xã hội và các kịch bản BĐKH, phục vụ cho việc định hướng sử dụng đất bền vững.

**b. Tính hiệu quả và độ chính xác đạt được của kết quả mô hình:** LCM (Land Change Modeler) vận hành dựa trên mạng nơ-ron đa lớp tích hợp (MLP) với chuỗi Markov nên rất thuận lợi để tạo bộ công cụ hữu hiệu trong việc đánh giá tác nhân gây biến động và thay đổi sử dụng đất. Đặc biệt, MOLUSCE plugin hỗ trợ rất tốt trong thành lập bản đồ thay đổi sử dụng đất cho các thời điểm khác nhau, dựa trên phân tích điều kiện tự nhiên, kinh tế-xã hội và các kịch bản BĐKH, cũng như cung cấp ma trận chuyển đổi cho thấy sự thay thế từ loại hình sử dụng đất này sang loại hình sử dụng đất khác. Nên MOLUSCE được áp dụng rất hiệu quả trong việc hỗ trợ xây dựng quy hoạch sử dụng đất ở nhiều tỷ lệ và giai đoạn khác nhau dựa trên phân tích tiềm năng chuyển đổi sử dụng đất.

Do đó, cơ sở dữ liệu GIS bao gồm: hiện trạng sử dụng đất, điều kiện tự nhiên, các yếu tố tác động do phát triển KT-XH và BĐKH được xây dựng để áp dụng mô hình LCM và MOLUSCE trên địa bàn Tỉnh Bến Tre, nhằm tạo các công cụ để đánh giá và mô phỏng về sự thay đổi các loại hình sử dụng đất theo quy trình như sau:

### **(1) Quy trình ứng dụng LCM trong phân tích thay đổi sử dụng đất**

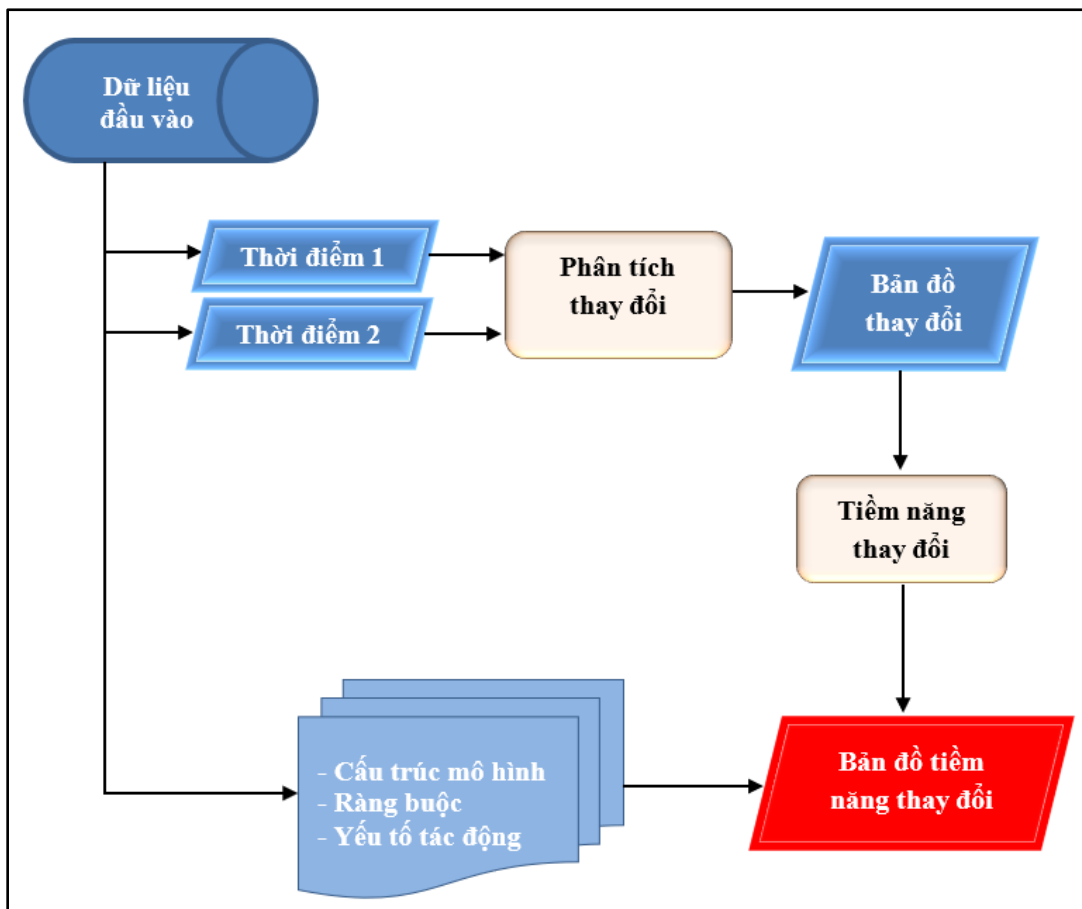
LCM với các moduls hỗ trợ khả năng đánh giá, hiệu chỉnh và mô hình hóa quá trình thay đổi lịch sử sử dụng đất theo các yếu tố tác động nhằm mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong tương lai yếu tố tác động như: kinh tế, xã hội, điều kiện tự nhiên và tác động của BĐKH. Do đó, quy trình được đề xuất theo từng bước từ (1) Phân tích thay đổi, (2) Lập mô hình tiềm năng chuyển đổi, đến (3) Mô phỏng thay đổi được thể hiện trong Hình 2.4. Việc mô phỏng dựa trên sự thay đổi lịch sử từ thời điểm 1 đến thời điểm 2 của bản đồ lớp phủ mặt đất để lập các kịch bản trong tương lai và cho ra bản đồ sử dụng đất ở thời điểm mô phỏng.



**a. Phân tích thay đổi:** Được áp dụng trong phân tích thay đổi loại hình sử dụng đất, giữa thời điểm 1 và thời điểm 2 dựa trên hai bản đồ bản đồ hiện trạng sử dụng đất của các năm 2009 và 2019. Kết quả tạo ra các bản đồ thể hiện sự chuyển đổi giữa các loại hình sử dụng đất, cũng như phân tích xu thế chu chuyển giữa các loại hình sử dụng đất theo các yếu tố tác động nhằm mô phỏng sự thay đổi lịch sử giữa 2 thời điểm

**b. Tiềm năng chuyển đổi:** Bước thứ hai trong quy trình là áp dụng LCM lập mô hình tiềm năng chuyển đổi giữa các loại hình sử dụng đất, nhằm tạo ra các bản đồ tiềm năng chuyển đổi mà về bản chất là các bản đồ thể hiện phù hợp cho từng quá trình chuyển đổi giữa các loại hình sử dụng đất có yếu tố tác động cơ bản, được sử dụng để mô hình hóa quá trình thay đổi lịch sử.

**c. Mô phỏng thay đổi:** LCM cho phép tạo ra các mô hình thay đổi và mô phỏng dựa trên bản đồ tiềm năng chuyển đổi, nhằm mô phỏng khả năng thay đổi trong tương lai với các yếu tố tác động như: kinh tế, xã hội, điều kiện tự nhiên và các kịch bản tác động của BĐKH trong tương lai, đã được mô hình hóa theo các mẫu chuyển đổi để tạo ra bản đồ chuyển đổi giữa các loại hình sử dụng đất ở thời điểm cần xác định cụ thể trong tương lai.

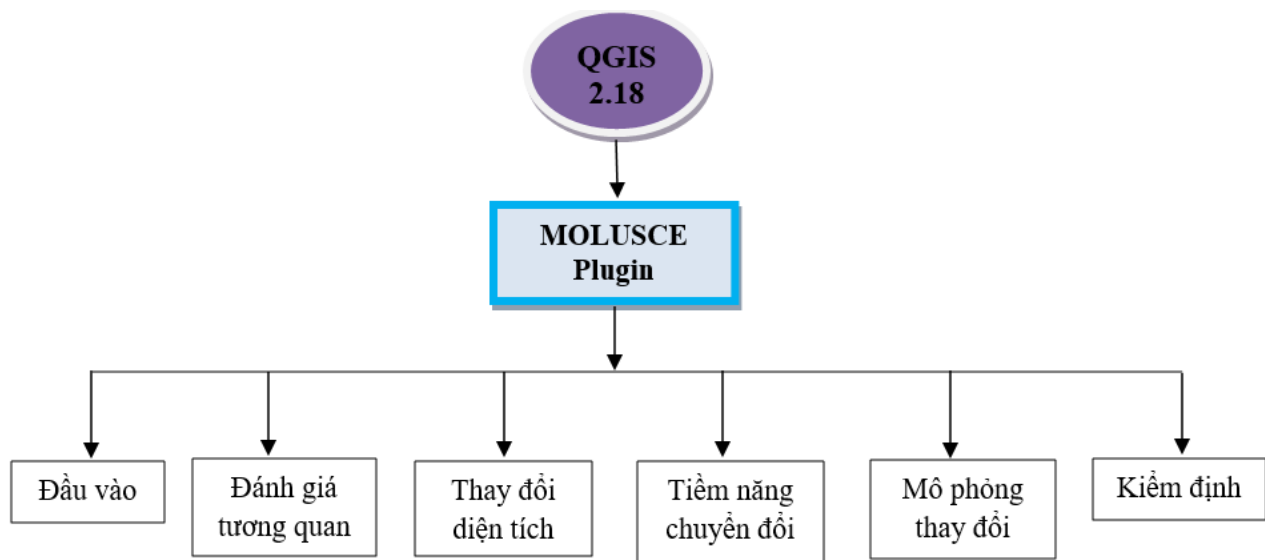


**Hình 2.4. Sơ đồ quy trình ứng dụng mô hình thay đổi sử dụng đất (LCM)**

## (2) Quy trình ứng dụng MOLUSCE

### ❖ Cấu trúc mô hình

Mô hình đánh giá thay đổi sử dụng đất Modules for Land Use Change Evaluation (MOLUSCE) là một mô-đun được tích hợp trong nền tảng QGIS và được thiết kế theo cấu trúc bao gồm các chức năng: (1) Thu thập dữ liệu đầu vào (Inputs): bao gồm ảnh hai thời điểm  $T_1$  và  $T_2$  và giá trị các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất, (2) Phân tích biến động (Area Change), (3) Mô phỏng tiềm năng chuyển đổi (Transition Potential Modeling), (4) Mô phỏng tự động CA (Cellula Automata Simulation) và (5) chức năng kiểm định (Validation): để phân tích thiết lập tham số của mô hình trong mô phỏng các thay đổi sử dụng đất thể hiện trong Hình 2.5.



**Hình 2.5. Cấu trúc mô hình MOLUSCE**

MOLUSCE kết hợp các thuật toán rất thích hợp để phân tích sự thay đổi sử dụng đất giữa các khoảng thời gian khác nhau. Do đó, để khai thác hiệu quả mô hình quy trình được đề xuất theo từng bước như sau:

**a. Sử dụng chức năng (Inputs):** Nhập dữ liệu đầu vào là bản đồ sử dụng đất dạng raster tại hai thời điểm và giá trị các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất như: kinh tế, xã hội, điều kiện tự nhiên và tác động của BĐKH. MOLUSCE tạo lớp raster bao gồm: hiện trạng sử dụng đất ban đầu và thời điểm thứ hai, cùng với lớp raster nhân tố, nhằm tạo cơ sở cho công tác đánh giá biến động đất, tổng hợp thống kê đất đai và cung cấp thông tin về hiện trạng sử dụng đất.

**b. chức năng Phân tích biến động (Area Change):** Tính toán số lượng pixel đã thay đổi từ loại hình sử dụng đất này sang loại hình sử dụng đất khác giữa hai thời điểm, để tạo lớp raster chuyển tiếp xác định diện tích thay đổi.

**c. Mô phỏng tiềm năng chuyển đổi:** MOLUSCE tạo ra lớp raster chuyển tiếp (thể hiện tiềm năng chuyển đổi dựa trên  $P_{ij}$  là xác suất chuyển đổi của các pixel tương ứng). Tính toán mô phỏng tiềm năng dựa trên lớp raster trạng thái ban đầu và lớp raster nhân tố. Trong MOLUSCE có sẵn bốn phương pháp khác nhau để thực hiện mô hình tiềm năng chuyển đổi bao gồm: Mạng nhân tạo nơ-ron thần kinh (Artificial Neural Network - ANN); Đánh giá đa tiêu chí (Multi Criteria Evaluation - MCE), Trọng số bằng chứng (Weights of Evidence - WoE) và Hồi quy logistic (Logistic Regression - LR). Trong đó, Phương pháp ANN và LR vận hành tương tự với dữ liệu đầu vào là lớp raster trạng thái ban đầu và raster yếu tố được sử dụng để huấn luyện và tạo dữ liệu xuất là lớp raster chuyển tiếp thể hiện tiềm năng chuyển đổi. Phương pháp WoE và MCE đều yêu cầu xây dựng được bộ trọng số phù hợp để tạo bản đồ nhị phân (0,1) là lớp raster chuyển tiếp thể hiện tiềm năng chuyển đổi, pixel nhận giá trị 1 thể hiện sự 'chắc chắn' hay có tiềm năng chuyển đổi lớn nhất. Tóm lại, tại mỗi thời điểm cần nhập dữ liệu đầu vào là raster trạng thái sử dụng đất ban đầu và raster nhân tố tác động, MOLUSCE tính toán lớp raster chuyển tiếp thể hiện tiềm năng chuyển đổi. Trong chức năng phân tích biến động, để tính diện tích bản đồ biến động các loại hình sử dụng đất trong hệ thống, thuật toán Pearson được áp dụng như sau:

$$P_{ij} = P(X_{t+1} = j | X_t = i)$$

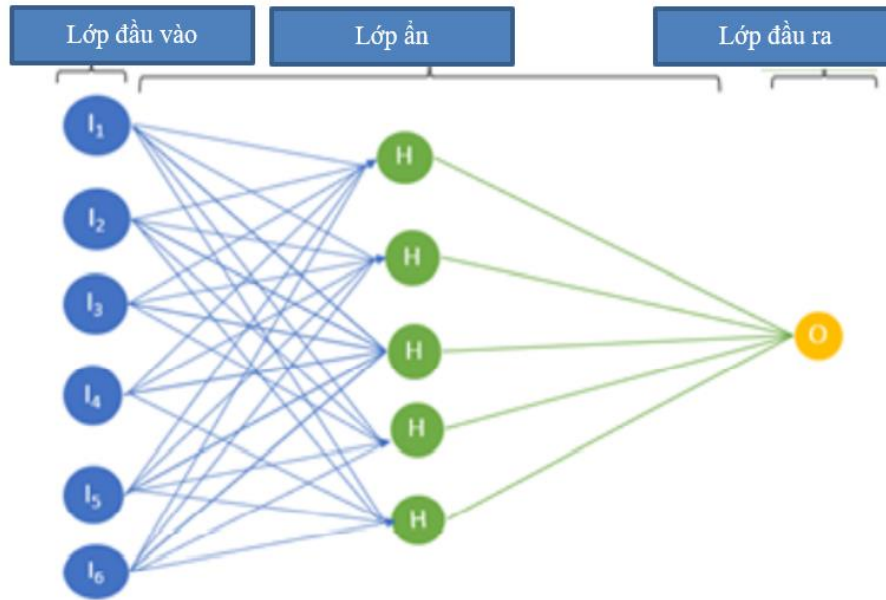
Hoặc

$$P_{ij} = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_N \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} C_0 & C_1 & \dots & C_{N-1} \\ C_N & C_{N+1} & \dots & C_{2N-1} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ C_{(N-1)*N} & C_{(N-1)*N+1} & \dots & C_{(N*N-1)} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.2)$$

**Trong đó:**  $C_0$  là số lượng pixel không thay đổi của loại hình sử dụng đất hoặc lớp phủ đất trong lớp thứ 1,  $C_1 \dots \dots C_{N*N-1}$  là số lượng pixel chuyển đổi đối với các loại hình sử dụng đất hoặc lớp che phủ đất tương ứng,  $X_1, X_2 \dots X_N$  thể hiện mã lớp sử dụng đất hoặc lớp phủ đất,  $P_{ij}$  là xác suất chuyển đổi.

Trong chức năng mô phỏng thay đổi, MOLUSCE lấy kết quả từ lớp raster chuyển tiếp (thể hiện tiềm năng chuyển đổi dựa trên  $P_{ij}$  là xác suất chuyển đổi của các pixel tương ứng). Tính toán mô phỏng tiềm năng thay đổi dựa trên lớp raster nhân tố cho thời điểm chỉ định. Nếu người dùng chỉ định số lần lặp lại để mô phỏng theo từng giai đoạn. Lớp raster được tạo

ra từ kết quả mô phỏng đầu tiên giữ vai trò là trạng thái ban đầu cho lần lặp thứ hai, tương tự, kết quả của lần lặp thứ hai là lớp raster trạng thái ban đầu của lần lặp thứ ba.



**Hình 2.6. Mạng thần kinh nhân tạo (ANN) dựa trên cấu trúc mô hình CA**

MOLUSCE cho phép sử dụng mạng nơ-ron MLP đã được cải tiến rộng rãi để cung cấp một chế độ tự động mà không cần người dùng can thiệp. Cấu trúc của ANN bao gồm ba lớp: lớp đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra, nhằm mô phỏng tự động CA (Cellula Automata Simulation) được thể hiện bởi **Hình 2.6**

#### ❖ Thiết lập và kiểm định mô hình

Trong MOLUSCE, việc kiểm định mô hình được thực hiện bằng cách so sánh lớp raster sử dụng đất là kết quả của mô phỏng với lớp raster sử dụng đất thực tế. Phương thức thống kê Kappa (k) được sử dụng để kiểm tra việc thực thi mô hình. Hệ số xác định  $R^2$  được sử dụng để kiểm tra sự thống nhất của giá trị mô phỏng với giá trị quan sát.

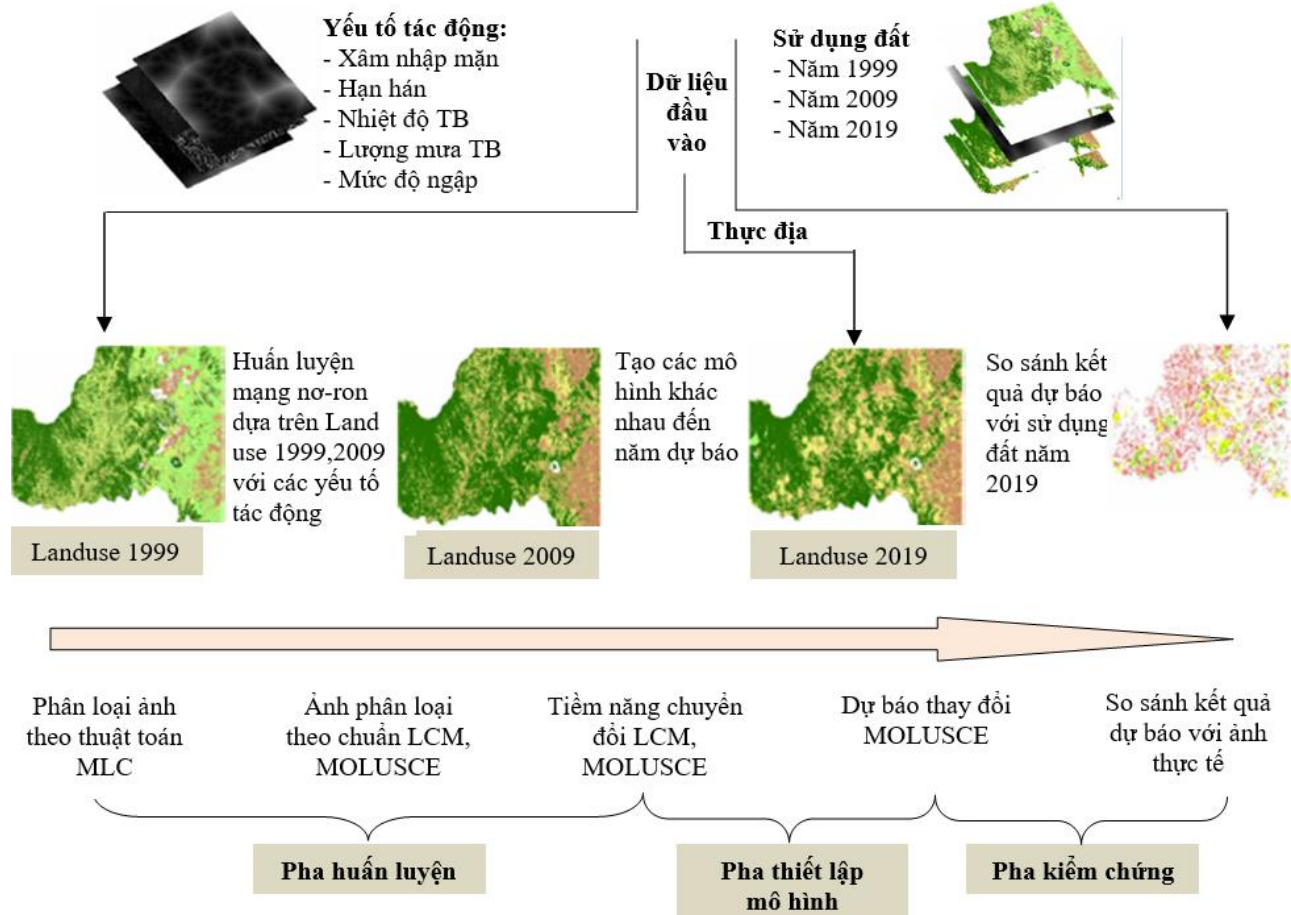
$$k = \frac{P_a - P_e}{1 - P_e} \quad (2.3)$$

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \quad (2.4)$$

Trong đó:

$$P_a = \sum_{i,j=1}^c P_{ij}, P_e = \sum_{i,j=1}^c P_{iT} \cdot P_{Tj}, P_{\max} = \sum_{i=1}^c \min(P_{iT}, P_{Tj}) \quad (2.5)$$

và  $P_{ij}$  là pixel thứ  $i, j$  trong ma trận,  $P_{iT}$  là tổng của tất cả các pixel trong hàng thứ  $i$  và  $P_{jT}$  tổng của tất cả các pixel trong cột thứ  $j$ ,  $c$  là số lượng các lớp raster,  $k$  là hệ số Kappa,  $S_i$  và  $O_i$  là các giá trị được mô phỏng và quan sát trong quá trình đánh giá mô hình tại bước thời gian thứ  $i$  tương ứng,  $\bar{O}$  là giá trị quan sát trung bình.



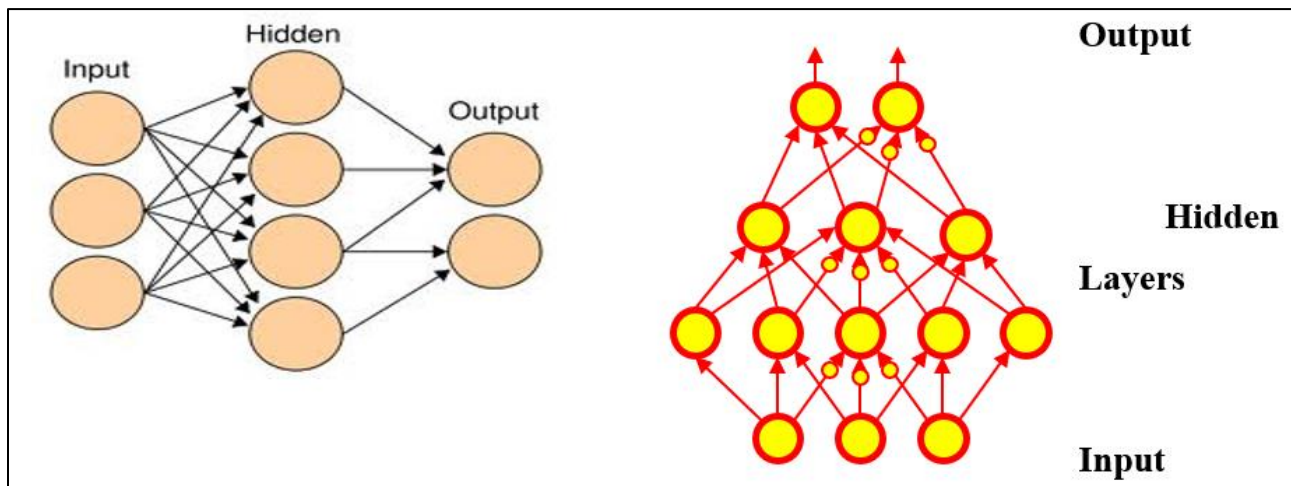
**Hình 2.7. Tiến trình thực hiện**

Tiến trình thực hiện nghiên cứu được thể hiện trong Hình 2.7. Ảnh vệ tinh Landsat được xử lý hình học và phân loại trong đánh giá quá trình thay đổi các loại hình sử dụng đất (giai đoạn 1999, 2009 và 2019) dựa trên bộ dữ liệu mẫu với thuật toán phân loại MLC. Kết quả phân tích được xu thế chuyển đổi giữa các loại hình sử dụng đất và để kết hợp với các yếu tố tác động tại các huyện Ba Tri, Bình Đại và Thạnh Phú của tỉnh Bến Tre được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu GIS.

Từ lịch sử biến động sử dụng đất, áp dụng mô hình LCM trong đánh giá tiềm năng chuyển đổi giữa các loại đất làm cơ sở cho mô phỏng thay đổi sử dụng đất bằng MOLUSCE với các biến tác động chủ yếu (nhiệt độ, lượng mưa, chỉ số ngập, độ mặn đất và chỉ số khô hạn) để tiến hành dự báo thay đổi sử dụng đất đến năm 2049.

Kết quả dự báo và mô phỏng thay sử dụng đất của mô hình MOLUSCE được kiểm định bằng bản đồ sử dụng đất thực tế năm 2019 nhằm đánh giá tỷ lệ trùng khớp giữa bản đồ mô phỏng với bản đồ thực tế. Điều chỉnh các tham số của mô hình, nhằm đáp ứng tốt nhất yêu cầu dự báo thay đổi sử dụng đất, cũng như tạo cơ sở thành lập các bản đồ sử dụng đất đến năm 2029, 2039 và năm 2049. Bản đồ kết quả được sử dụng làm tài liệu tham khảo cho các nhà quản lý trong việc ra quyết định có liên quan đến kế hoạch khả thi và quy hoạch sử dụng đất bền vững thích ứng với BĐKH.

Để đánh giá tiềm năng chuyên đổi sử dụng đất, mô hình MOLUSCE cung cấp nhiều thuật toán có sẵn để thành lập bản đồ tiềm năng chuyển đổi sử dụng đất dựa trên phương pháp tham số như: Đánh giá đa tiêu chí (Multi Criteria Evaluation - MCE), Trọng số bằng chứng (Weights of Evidence - WoE), Hồi quy logistic (Logistic Regression - LR) và phương pháp phi tham số như Mạng thần kinh nhân tạo (Artificial Neural Network - ANN) Mỗi phương pháp đều sử dụng thông tin sử dụng đất và biến tác động để hiệu chỉnh và mô hình hóa chuyển đổi sử dụng đất trong tương lai. Cơ sở khoa học của hai phương pháp đều cho kết quả tính được xác suất chuyển đổi  $P_{ij}$  (từ loại hình sử dụng đất  $i$  sang loại hình sử dụng đất  $j$ ).



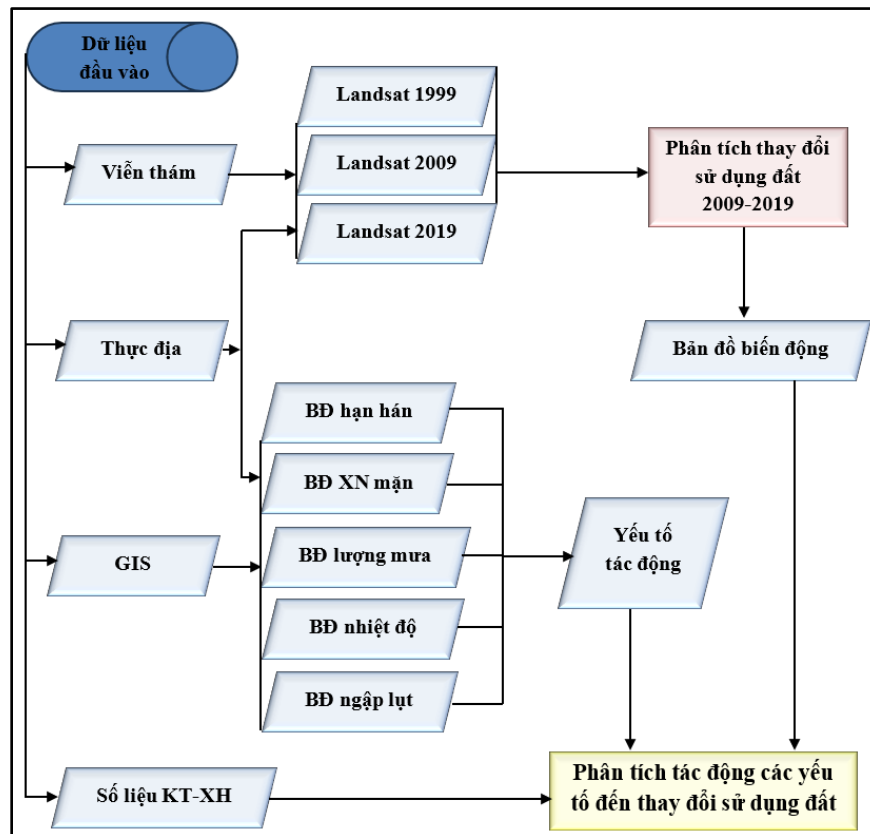
**Hình 2.8. Cấu trúc ANN trong dự báo thay đổi sử dụng đất**

Để thấy rõ tính ưu việt của phương pháp ANN thể hiện trong Hình 2.8, cần hiểu rõ cấu trúc và quy trình áp dụng gồm hai giai đoạn: (1) Huấn luyện: tạo khả năng nhận biết chính xác  $P_{ij}$  từ bộ dữ liệu mẫu (2) Vận hành: ANN sử dụng bộ trọng số nhận được từ kết quả huấn luyện để tiến hành tính tự động có các giá trị xuất tương ứng mong muốn  $P_{ij}$  từ dữ liệu nhập để dự đoán thay đổi sử dụng đất. Thông thường ANN có cấu trúc đa lớp (Multi - layer) với Lớp nhập (Input) có số neuron bằng với số biến độc lập; Lớp xuất (Output) có số neuron bằng với số loại hình sử dụng đất và có giá trị nhị phân. Lớp ẩn (Hidden) có một hoặc nhiều lớp và số neuron cho mỗi lớp ẩn do người sử dụng chọn để xác định cấu trúc của mô hình ANN (Hình 2.8). Ngoài ra, MOLUSCE còn cung cấp giao diện để người dùng chọn các tham số học (Learning rate) Số vòng lặp (Maximum Iterations) trong quá trình dùng huấn luyện; Thể hiện độ chính xác tổng thể ( $\Delta$  Overall Accuracy) sai số đạt được của bộ dữ liệu huấn luyện

(Training data) và sai số đạt được tối thiểu trên bộ mẫu xác thực (Validation data) cũng như hệ số Kappa thể hiện độ tin cậy cho quá trình mô phỏng thay đổi sử dụng đất.

### 2.2.3. Phương pháp đánh giá ảnh hưởng các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất

Theo kết quả điều tra khảo sát các tổ chức, cán bộ chính quyền các cấp trên địa bàn tỉnh Bến Tre tại các huyện Ba Tri, Bình Đại và Thạnh Phú cho thấy có đến 100% ý kiến cho rằng bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn, 85,71% bị ảnh hưởng bởi hạn hán, 46,43% bị ảnh hưởng bởi xói lở bờ, 42,86% bị ảnh hưởng bởi bão, 14,29% bị ảnh hưởng bởi lũ lụt và 14,29% bị ảnh hưởng bởi nước biển dâng. Ngoài ra theo kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre năm 2020 nhiệt độ có xu thế tăng ở hầu hết các trạm quan trắc, lượng mưa trung bình tăng theo hướng từ biển vào đất liền đặc biệt mưa cực đoan tăng mạnh, hạn hán xuất hiện thường xuyên trong mùa khô. Kết quả điều tra về các biện pháp thích ứng với BĐKH cho thấy 56,79% người dân cho ý kiến thực hiện đa dạng hóa vật nuôi cây trồng; 30,86% cho ý kiến thực hiện chuyển đổi mùa vụ; 23,46% thay đổi loại hình sản xuất; 12,76% cho ý kiến thực hiện biện pháp thay đổi mục đích sử dụng đất và 2,06% người dân thực hiện dịch chuyển lao động. Như vậy hầu hết các biện pháp thích ứng được lựa chọn đều có liên quan đến thay đổi sử dụng đất. Qua đó cho thấy sự thay đổi các yếu tố tự nhiên trên có ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất. Từ đó Luận Án đã lựa chọn năm yếu tố tự nhiên để đánh giá ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất bao gồm: nhiệt độ, lượng mưa, hạn hán, xâm nhập mặn và mực nước biển dâng.



Hình 2.9. Quy trình đánh giá các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất

Để tạo giải pháp lượng hóa mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất làm cơ sở cho việc phân tích biến động sử dụng đất. Luận Án tiến hành xác định mối tương quan giữa biến động sử dụng đất với các yếu tố gây biến động trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Hình 2.9 thể hiện quy trình lượng hóa mức độ ảnh hưởng của các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất dựa trên giá trị của các yếu tố và bản đồ biến động đất đai trên cơ sở các điểm mẫu được chọn. Mỗi điểm mẫu là một pixel với hai giá trị 0 và 1 tương ứng với 0 là không biến động và 1 là biến động lần lượt được tham chiếu đến các lớp dữ liệu chuyên đề về hạn hán, độ mặn đất, lượng mưa, nhiệt độ và ngập lụt để lấy các giá trị tương ứng. Giá trị các biến tác động sẽ được phân tích hồi quy với thay đổi sử dụng đất sẽ xác định mức độ tác động của các yếu tố làm thay đổi sử dụng đất.

### **a. Phương pháp đánh giá độ mặn đất**

Có nhiều phương pháp đánh giá độ mặn đất, trong đó các chỉ số trích xuất từ ảnh viễn thám thường được sử dụng kết hợp với kỹ thuật hồi quy ảnh để tính toán khả năng lan truyền mặn cho từng pixels. Các chỉ số thường được áp dụng trong tính toán độ mặn đất bao gồm: Chỉ số thực vật NDVI (Normalize Difference Vegetation Index), Chỉ số thực vật có hiệu chỉnh đất SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), chỉ số thực vật tăng cường EVI (Enhanced Vegetation Index). Ngoài ra, để nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất, các chỉ số sau đây cũng được sử dụng: chỉ số độ mặn đất bao gồm các chỉ số SI (Salinity Index) từ 1 đến 9, chỉ số Độ mặn Phản ứng Canopy CRSI (Canopy Response Salinity Index), chỉ số khác biệt độ mặn NDSI (Normalize Difference Salinity Index), chỉ số độ mặn đất thực vật VSSI (Vegetation Soil Salinity Index), chỉ số độ dẫn điện của đất EC (Electrical Conduction).

#### **i. Chỉ số thực vật**

Chỉ số thực vật được xây dựng dựa trên nguyên tắc toán học, để tăng cường sự khác biệt về phổ phản xạ của thực vật theo các kênh phổ khác nhau, nhằm làm nổi bật lớp phủ thực vật thông qua các giá trị tính được cho mỗi pixel/điểm ảnh. Để giám sát sự tăng trưởng của cây, chỉ số dùng để thể hiện các chỉ số về sinh lý như hàm lượng chlorophyll (NDVI) lượng nước trong lá (NDWI) hay chỉ số về cấu trúc thực vật như cấu trúc lá, cấu trúc tán (LAI, EVI). Trong nhóm chỉ số thực vật, NDVI là chỉ số được sử dụng phổ biến trong giám sát thực phủ, do thể hiện tương quan cao với hàm lượng diệp lục (chlorophyll) có trong lá, tuy nhiên, nhược điểm của chỉ số này là khả năng bị bão hòa ở giải giá trị cao khoảng 0,8 ~ 1.

#### **ii. Chỉ số muối, chỉ số độ mặn**

Chỉ số muối hay chỉ số độ mặn được trích xuất từ xử lý ảnh viễn thám đã được nghiên cứu và đề xuất bởi các nhóm nghiên cứu khác nhau, nhằm làm nổi bật các biểu hiện về độ mặn trên đất hay trong nước. Tùy đặc điểm điều kiện tự nhiên, môi trường sinh thái, lớp phủ của khu vực,... để chọn chỉ số phù hợp. Thường các chỉ số muối/chỉ số độ mặn được tính từ



các kênh phổ trong vùng sóng khả kiến và cận hồng ngoại. Các kênh phổ này phù hợp để có thể nghiên cứu thử nghiệm trên ảnh vệ tinh LANDSAT trong thành lập bản đồ xâm nhập mặn được thể hiện ở Bảng 2.4:

**Bảng 2.4. Công thức tính chỉ số độ mặn dựa trên các kênh phổ ảnh Landsat 8 OLI**

STT	Chỉ số	Công thức	Nguồn
1	Salinity Index 1 (SI1)	$SI1 = \sqrt{(Green^2 + Red^2)}$ (2.6)	Douaoui et al,2006
2	Salinity Index 2 (SI2)	$SI2 = \sqrt{(Red + Green)}$ (2.7)	Douaoui et al,2006
3	Salinity Index 3 (SI3)	$SI3 = Blue * Red$ (2.8)	Khan et al., 2001
4	Salinity Index 4 (SI4)	$SI4 = (Red * NIR) / Green$ (2.9)	Abbas and Khan,2007
5	Salinity Index 5 (SI5)	$SI5 = Blue / Red$ (2.10)	Abbas and Khan,2007
6	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = 1.5 * ((NIR - Red) / ((NIR + Red + 0.5)))$ (2.11)	<a href="http://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-soil-adjusted-vegetation-index">www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-soil-adjusted-vegetation-index</a>
7	Normalize Difference Salinity Index (NDSI)	$NDSI = (Red - NIR) / ((NIR + Red))$ (2.13)	Khan et al,2001 (2.12)
8	Vegetation Soil Salinity Index (VSSI)	$VSSI = 2 * Green - 5 * (Red + NIR)$ (2.14)	Dehni and Lounis
9	Near Infra Red (NIR)	Kênh 5	Landsat 8 OLI
10	Generalized Difference Vegetation Index	$GDVI = ((NIR^n - R^n) / ((NIR^n + R^n)))$ (2.15)	Lobell et al., 2007
11	Enhanced vegetation index	$EVI = G * ((NIR - R) / ((NIR + C_1 R - C_2 B + L)))$ (2.16)	Lobell et al., 2007

### iii. Các chỉ số vật lý khác

Trong nghiên cứu xâm nhập mặn, để làm nổi bật và gia tăng mối tương quan giữa dữ liệu mặn với thông tin phản xạ phổ trên ảnh vệ tinh, các chỉ số vật lý được trích xuất từ ảnh cũng được sử dụng như: chỉ số độ sáng của đất, chỉ số nhiệt cũng như các chỉ số tỷ lệ phản xạ giữa các kênh ảnh được thể hiện ở Bảng 2.5.

**Bảng 2.5. Các chỉ số vật lý khác**

Chỉ số	Công thức
Chỉ số độ sáng	$BI = \sqrt{((R^2 + NIR^2))}$ (2.17)
Chỉ số cường độ của các kênh trong dải nhìn thấy	$INT1 = ((G + R))/2$ (2.18)
Chỉ số cường độ của các kênh trong dải nhìn thấy và cận hồng ngoại	$INT2 = ((G + R + NIR))/2$ (2.19)

Bên cạnh các nhóm chỉ số vật lý trên, phân tích thành phần chính (Principal Component Analysis – PCA) là một trong những nhóm chỉ số được ứng dụng để chiết xuất các yếu tố không tương quan giữa các kênh phổ.

**Bảng 2.6. Phân cấp độ mặn trong đất theo EC (dS/m)**

Phân cấp	EC bảo hòa	EC (1:5)
Không mặn	0 - 4	0 - 0,6
Mặn nhẹ	4 - 8	0,6 - 1,2
Mặn vừa	8 - 12	1,2 - 2,3
Mặn nặng	Trên 12	trên 2,3

**Bảng 2.6** thể hiện phân cấp độ mặn đất dựa trên giá trị chỉ số EC bảo hòa được tính theo phương pháp trên. Theo đó có 4 cấp độ mặn đất tương ứng với giá trị EC được phân cấp bao gồm: không mặn giá trị EC từ 0 – 4, mặn nhẹ giá trị EC từ 4 – 8, mặn vừa giá trị EC từ 8 – 12 và mặn nặng giá trị EC trên 12.

### b. Phương pháp đánh giá khô hạn

Hiện nay có nhiều phương pháp tính chỉ số khô hạn, tuy nhiên có hai phương pháp phổ biến bao gồm: Phương pháp tính chỉ số khô hạn từ số đo trạm khí tượng thủy văn và phương pháp viễn thám. Luận án sử dụng phương pháp Viễn thám để tính chỉ số khô hạn.

Để tính chỉ số khô hạn bằng phương pháp viễn thám, Luận án đã chọn loại ảnh viễn thám phù hợp để xử lý biểu diễn phân bố vùng hạn hán theo không gian và thời gian. Cơ sở tính toán phân vùng hạn dựa trên chỉ số khô hạn theo quan hệ nhiệt độ - thực vật (Temperature Vegetation Dryness Index – TVDI). Theo Trần Thị Vân (2019), chỉ số này được xây dựng để xác định độ ẩm đất dựa trên không gian đô thị (Ts, NDVI). Trong không gian này, vị trí của pixel bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố gồm nhiệt độ, độ phủ thực vật, độ ẩm, độ bay hơi và những đường đồng mức của yếu tố chính (độ ẩm, độ bay hơi) và có thể vẽ được trong tam

giác xác định nên không gian (Ts, NDVI). TVDI rất nhạy cảm với lượng mưa, nên giá trị cao nhất của TVDI trong thời gian theo dõi sẽ tương ứng với lượng mưa ít hoặc không mưa và chỉ số này giảm đi trong những ngày có lượng mưa lớn. Tóm lại, TVDI lớn đồng nghĩa với điều kiện khô và ngược lại. Bên cạnh đó, các loại lớp phủ khác nhau sẽ cho dạng (Ts, NDVI) khác nhau và điều kiện khí quyển, độ ẩm bề mặt khác nhau, sự lựa chọn tỷ lệ cũng ảnh hưởng đến hình dáng của đồ thị phân tán trong không gian (Ts, NDVI). Chỉ số khô hạn theo quan hệ nhiệt độ - thực vật được tính theo công thức sau:

$$TVDI = \frac{(Ts - T_{min})}{(T_{max} - T_{min})} = \frac{(Ts - T_{min})}{(a + b * NDVI - T_{min})} \quad (2.20)$$

Trong đó,  $T_{min}$  là nhiệt độ bề mặt cực tiểu trong tam giác để xác định rìa ướt,  $T_s$  là nhiệt độ quan sát tại pixel ảnh cần tính,  $T_{max}$  là nhiệt độ bề mặt cực đại quan sát được cho mỗi khoảng giá trị của NDVI. Tham số  $a$  và  $b$  của đường “rìa khô” cho một ảnh Landsat được xác định bằng hàm hồi quy bình phương tối thiểu của các giá trị cực đại  $T_s$  đối với những khoảng giá trị NDVI có dạng  $T_{max} = a + b * NDVI$ . Để xác định hệ số  $a, b$  trong hàm hồi quy trên cần chọn điểm mẫu là các điểm có giá trị trung tâm thuộc các khoản chia giá trị của biến độc lập NDVI và giá trị nhiệt độ tương ứng với biến phụ thuộc là nhiệt độ bề mặt (Land Surface Temperature – LST).

**Bảng 2.7. Phân cấp chỉ số khô hạn TVDI**

STT	Phân cấp TVDI	Phân cấp mức độ hạn hán
1	0,0 – 0,4	Không hạn
2	0,4 – 0,6	Hạn nhẹ
3	0,6 – 0,8	Hạn trung bình
4	0,8 – 1,0	Hạn nặng

**Bảng 2.7** thể hiện phân cấp mức độ khô hạn dựa trên giá trị chỉ số TVDI được tính theo phương pháp trên. Theo đó có 4 cấp độ khô hạn tương ứng với giá trị TVDI được phân cấp bao gồm: không khô hạn giá trị TVDI từ 0 – 0,4, khô hạn nhẹ giá trị TVDI từ 0,4 – 0,6, khô hạn trung bình giá trị TVDI từ 0,6 – 0,8 và khô hạn nặng giá trị TVDI từ 0,8 – 1,0.

### c. Phương pháp phân tích hồi quy và tương quan

Phân tích hồi quy là tìm quan hệ phụ thuộc của một biến, được gọi là biến phụ thuộc vào một hoặc nhiều biến khác, được gọi là biến độc lập nhằm mục đích ước lượng hoặc tiên đoán giá trị kỳ vọng của biến phụ thuộc khi biết trước giá trị của biến độc lập. Kết quả đạt được nhằm tạo cơ sở xây dựng mô hình dự báo theo các yếu tố tác động (là các biến độc lập). Phân tích tương quan nhằm xác lập mối quan hệ tuyến tính giữa hai biến số, nhằm thể hiện

mối quan hệ nhân quả. Ngoài ra, trong xử lý ảnh đa phổ, việc xây dựng ma trận tương quan giữa các kênh ảnh, nhằm xác định sự trùng lặp hay dư thừa thông tin để chọn 3 kênh tối ưu trong tổ hợp màu, hoặc nâng cao độ chính xác phân loại ảnh (áp dụng thuật toán MLC)

Để đánh giá tác động của các yếu tố tự nhiên, kinh tế xã hội đến biến động sử dụng đất, các phương pháp phân tích tương quan, phân tích nhân tố, phân tích phương sai và phân tích hồi quy thường được áp dụng. Ngoài ra, phương pháp phân tích hồi quy Binary Logistic là một kỹ thuật thống kê sử dụng biến phụ thuộc dạng nhị phân để ước lượng xác suất một sự kiện sẽ xảy ra với những thông tin của biến độc lập mà ta có được. Khi biến phụ thuộc ở dạng nhị phân (hai biểu hiện 0 và 1) thì phân tích hồi quy Binary Logistic được áp dụng khá hiệu quả để xác định hay lượng hóa mức độ ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên, kinh tế xã hội đến thay đổi sử dụng đất (có thay đổi hay không thay đổi) từ đó xác định hay dự báo xác suất thay đổi của một loại đất và giữa các loại sử dụng đất khác nhau.

Hoàng Trọng và Chu Nguyễn Mộng Ngọc (2008) tiến hành phân tích hồi quy logistic đa biến để xác định mối tương quan giữa các yếu tố tự nhiên, kinh tế xã hội đối với biến động sử dụng đất. Mô hình hàm hồi quy logistic đa biến có dạng:

$$P(Y = 1) = \frac{e^{B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_n \cdot X_n}}{1 + e^{B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_n \cdot X_n}} \quad (2.21)$$

Hoặc có thể viết dưới dạng:

$$\log \left( \frac{Y=1}{Y=0} \right) = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_n \cdot X_n \quad (2.22)$$

Trong đó:

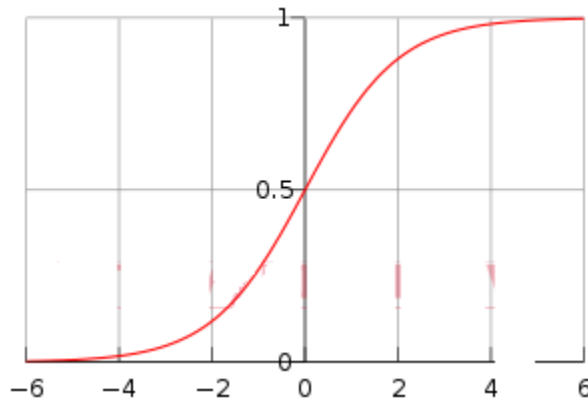
$X_1, X_2, \dots, X_n$ : Các biến độc lập trong mô hình hồi quy

$B_1, B_2, \dots, B_n$ : Hệ số của các biến độc lập trong mô hình hồi quy. Hệ số B phản ánh lượng biến thiên của Y khi một đơn vị X thay đổi.

$B_0$ : Hằng số

$$P(Y=1) = P_0: \text{là xác suất xảy ra biến động sử dụng đất.} \quad (2.23)$$

$$P(Y=0) = 1 - P(Y=1): \text{là xác suất không xảy ra thay đổi sử dụng đất.} \quad (2.24)$$



**Hình 2.10. Mô hình hồi quy Logistic**

Đồ thị của  $f(z)$  (xác suất xảy ra thay đổi sử dụng đất) thể hiện ở Hình 2.10.  $z$  có thể nhận giá trị bất kỳ âm hoặc dương nhưng  $f(z)$  chỉ nhận giá trị trong khoảng 0 và 1.  $z$  dùng để mô tả ảnh hưởng của tất cả các biến độc lập (yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất – risk factor) đến đối tượng nghiên cứu (outcome) và  $f(z)$  là xác suất sự kiện xảy ra.

#### 2.2.4. Phương pháp điều tra khảo sát thu thập thông tin

Các thông tin điều tra khảo sát bao gồm thông tin thứ cấp và thông tin sơ cấp. Thông tin thứ cấp bao gồm các số liệu tài liệu bản đồ có liên quan đến điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội, hiện trạng sử dụng đất và các tài liệu khác có liên quan đến biến đổi khí hậu được thu thập tại các Sở, Ban ngành có liên quan của tỉnh Bến Tre. Điều tra khảo sát nhằm thu thập các thông tin có liên quan đến các loại hình sử dụng đất, tác động của biến đổi khí hậu đến sử dụng đất làm cơ sở cho đánh giá biến động đất đai và dự báo sự thay đổi sử dụng đất trong điều kiện biến đổi khí hậu. Điều tra khảo sát hỗ trợ, cung cấp thông tin cho việc phân loại ảnh vệ tinh, nhằm tạo cơ sở cho công tác đánh giá biến động đất, tổng hợp thống kê đất đai và cung cấp thông tin về hiện trạng sử dụng đất.

#### 2.2.5. Phương pháp đánh giá xu thế, mức độ biến đổi các yếu tố khí hậu

Các yếu tố khí hậu được đánh giá trong Luận Án bao gồm: nhiệt độ, lượng mưa và mực nước biển dâng. Thông thường việc xác định xu thế, mức độ biến đổi các yếu tố khí hậu được sử dụng bằng hàm tuyến tính, đây là phương pháp dễ thực hiện nhưng không mềm dẻo. Phương pháp EMD (Empirical Mode Decomposition) thường được sử dụng trong việc xác định xu thế BĐKH. Phương pháp này được Huang xây dựng năm 1998 - 1999, cơ sở của phương pháp này là phân tích dao động bằng các hàm IMFs (Intrinsic Mode Functions). Quá trình để tính IMFs từ chuỗi số liệu gốc  $x_0(t)$ , với  $t=1, 2, \dots, n$  và  $n$  là độ dài chuỗi, được xác định qua các bước như sau:

##### **Phương pháp xác định xu thế biến đổi nhiệt độ, lượng mưa:**

Bước 1: Xác định tất cả các cực trị của  $x_0(t)$ .

Bước 2: Xác định đường bao trên  $e_{\max}(t)$  và bao dưới  $e_{\min}(t)$  của  $x_0(t)$  trên cơ sở các giá trị cực trị.

Bước 3: Tính giá trị trung bình của đường bao trên và bao dưới  $m_1(t) = (e_{\max}(t) + e_{\min}(t))/2$

Bước 4: Xác định sự khác biệt giữa  $x_0(t)$  và  $m_1(t)$ , ký hiệu là  $h_1(t)$ ,  $h_1(t) = x_0(t) - m_1(t)$ .  $h_1(t)$  được gọi là xấp xỉ IMFs lần 1, được ký hiệu là  $IMF_1$ .

Để tăng độ chính xác các bước từ 1 đến 4 được lặp lại. Khi đó đến bước lặp thứ  $k$  ta xác định được các chuỗi  $h_1(t), h_2(t), \dots, h_k(t)$ , tương ứng với  $IMF_1, IMF_2, \dots, IMF_k$ . Sau mỗi lần lặp chuỗi  $x(t)$  được thay thế bằng giá trị mới. Với bước lặp lần thứ  $k$ ,  $x_k(t)$  được tính như sau:

$$x_k(t) = x_{k-1}(t) - IMF_k \quad (2.25)$$

Quá trình lặp kết thúc khi độ lệch chuẩn (SD) nhỏ hơn một giá trị xác định, với SD được tính như sau:

$$SD = \sum_{t=1}^n \frac{(h_{k-1}(t) - h_k(t))^2}{h_{k-1}^2(t)} \quad (2.26)$$

Như vậy ở bước thứ  $k$ ,  $x_0(t)$  được xấp xỉ như sau:

$$x_0(t) = \sum_{j=1}^k IMF_j + x_k(t) \quad (2.27)$$

Khi SD đạt ngưỡng,  $x_k(t)$  chính là xu thế biến đổi của  $x_1(t)$ .

Phương pháp xác định mức độ biến đổi nhiệt độ, lượng mưa: Thông qua các chỉ số thống kê chính là giá trị trung bình, độ lệch chuẩn và biến suất của chuỗi số liệu  $x_0(t)$ , với  $t=1, 2, \dots, n$ .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=1}^n x_0(t)}{n} \quad (2.28)$$

S được tính như công thức (SD)

$$S_r = \frac{S}{x} \quad (2.29)$$

**Phương pháp xác định xu thế biến đổi mực nước:**

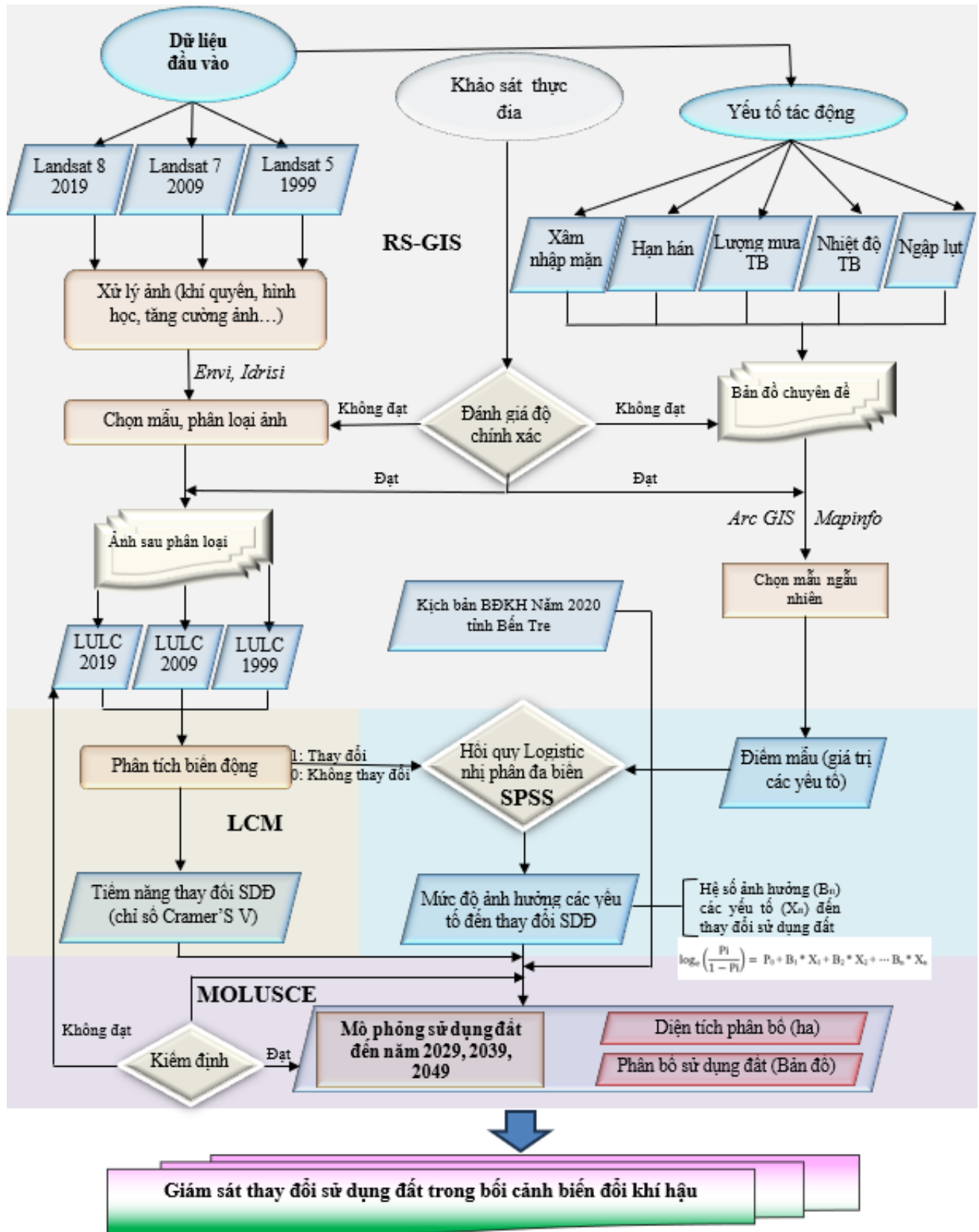
Tốc độ biến thiên theo thời gian (dâng lên hoặc hạ xuống) của mực nước được xác định theo phương pháp phân tích xu thế (phân tích trend). Theo phương pháp này người ta xác định mối liên hệ giữa mực nước  $y$  và thời gian  $x$  dưới dạng một phương trình hồi quy tuyến tính  $y = ax + b$ , trong đó:

$$a = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} r, \quad b = m_y - am_x, \quad r = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} - m_x m_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2.30)$$

$$m_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad D_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - m_x^2, \quad \sigma_x = \sqrt{D_x}, \quad m_y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad D_y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - m_y^2, \quad \sigma_y = \sqrt{D_y} \quad (2.30.1) \quad (2.30.2) \quad (2.30.3) \quad (2.30.4) \quad (2.30.5) \quad (2.30.6)$$

$n$ : Độ dài chuỗi số liệu quan trắc mực nước

Trong phương trình trên hệ số  $a$  có ý nghĩa là tốc độ biến thiên của mực nước  $y$  trong một đơn vị thời gian  $x$ . Nếu chuỗi phân tích là giá trị mực nước năm, thì hệ số  $a$  là tốc độ dâng lên (hay hạ xuống) của mực nước trong một năm. Nếu phân tích mực nước tháng thì hệ số  $a$  là tốc độ dâng lên (hay hạ xuống) của mực nước trong một tháng. Phương pháp này có thể áp dụng để phân tích các chuỗi mực nước theo giờ, ngày, tháng, hoặc năm.



Hình 2.11. Khung phương pháp luận nghiên cứu



## KẾT LUẬN CHƯƠNG II

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm các dữ liệu không gian (bản đồ và ảnh vệ tinh) và các dữ liệu kinh tế - xã hội, thống kê đất đai được công bố trong niên giám thống kê hàng năm. Các dữ liệu trên được chuẩn hóa và đưa vào xử lý trên các phần mềm GIS, RS và các phần mềm thống kê. Trong đó, các ảnh vệ tinh Landsat và bản đồ sử dụng đất kiểm kê qua thời điểm các năm 1999, 2009, và năm 2019 được thu thập và xử lý theo quy trình xử lý ảnh và được phân thành 7 loại lớp phủ tương ứng. Từ đó, Luận án tiến hành thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất tại các thời kỳ khác nhau và phân tích đánh giá biến động sử dụng theo hai khía cạnh là chu chuyển diện tích và phân bố không gian. Các bản đồ chuyên đề được thành lập từ ảnh viễn thám bằng các mô hình toán bao gồm mô hình lan truyền mặn (EC), mô hình mô phỏng chỉ số khô hạn dựa trên mối quan hệ giữa lớp phủ thực vật và nhiệt độ (TVDI). Các bản đồ nhiệt độ, lượng mưa và mức độ ngập được kế thừa từ kịch bản biến đổi khí hậu năm 2020 tỉnh Bến Tre sau đó được chuyển sang định dạng raster để đưa vào mô hình.

Luận án đã ứng dụng mô hình LCM (Land Use Change Evaluation) nhằm đánh giá các yếu tố gây thay đổi sử dụng đất như ảnh hưởng do khô hạn, xâm nhập mặn, ngập lụt theo các kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5. Đồng thời, Luận án cũng đã ứng dụng mô hình mô phỏng thay đổi sử dụng đất (MOLUSCE) để phân tích sự thay đổi sử dụng đất giữa các khoảng thời gian khác nhau, cũng như xác định tiềm năng chuyển đổi việc sử dụng đất trong tương lai dựa trên đánh giá đa tiêu chí. Từ kết quả phân tích xu thế biến động trong lịch sử, đánh giá tình hình quản lý, để dự báo thay đổi sử dụng đất cho các năm 2029, 2039 và 2049 nhằm định hướng sử dụng đất bền vững thích ứng với BĐKH tỉnh Bến Tre.

### CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Đánh giá hiện trạng sử dụng đất năm 2019

Tổng diện tích tự nhiên theo thống kê diện tích đất đai năm 2019(1) là 237.970ha, trong đó: Diện tích đất nông nghiệp: 179.947ha, chiếm 75,64% diện tích tự nhiên. Diện tích đất phi nông nghiệp: 56.681ha, chiếm 23,8% diện tích tự nhiên (thể hiện trong Bảng 3.1).

##### 3.1.1. Hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp

**Bảng 3.1. Hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp năm 2019**

STT	Chỉ tiêu	Mã	Hiện trạng năm 2019	
			Diện tích (ha)	Cơ Cấu (%)
<b>I</b>	<b>Loại đất</b>		-	-
<b>1</b>	<b>Đất nông nghiệp</b>	<b>NNP</b>	<b>179.947</b>	<b>100,00</b>
	<i>Trong đó:</i>		-	-
1.1	Đất trồng lúa	LUA	19.108	10,62
	Trong đó: Đất chuyên trồng lúa nước	LUC	13.393	7,44
1.2	Đất trồng cây hàng năm khác	HNK	5.803	3,22
1.3	Đất trồng cây lâu năm	CLN	110.633	61,48
1.4	Đất rừng phòng hộ	RPH	3.510	1,95
1.5	Đất rừng đặc dụng	RDD	2.413	1,34
1.6	Đất rừng sản xuất	RSX	1.230	0,68
1.7	Đất nuôi trồng thủy sản	NTS	33.696	18,73
1.8	Đất làm muối	LMU	1.457	0,81
1.9	Đất nông nghiệp khác	NKH	2.098	1,17

##### a. Đất trồng lúa:

Với diện tích 19.108 ha, phân bố chủ yếu ở các huyện Ba Tri (10,78 nghìn ha), Bình Đại (1,02 nghìn ha), Thạnh Phú (6,33 nghìn ha), Giồng Trôm (954ha) và TP. Bến Tre (7 ha). Trong đó diện tích đất chuyên trồng lúa nước có diện tích là 13.393 ha, chiếm 5,63% diện tích tự nhiên và 7,44% diện tích đất nông nghiệp.

Diện tích trồng lúa 3 vụ có diện tích là 13.393 ha, chiếm 7,75% diện tích hệ thống canh tác có tưới, phân bố nhiều ở các huyện Ba Tri (10,78 nghìn ha), Bình Đại (1.018ha), Giồng Trôm (941ha), Thạnh Phú (641 ha),...Loại sử dụng đất chuyên trồng lúa (từ 2 – 3 vụ/năm) có

<sup>1</sup> Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019 và báo cáo kế hoạch sử dụng đất năm 2020 cấp huyện đã được UBND huyện phê duyệt (Sở Tài nguyên và Môi trường)

thời gian khai thác đất dài (9-10 tháng trong năm), phân bố ở vùng đất phù sa, đất phèn tiềm tàng, hệ thống thủy lợi tương đối đồng bộ, đảm bảo nguồn nước tưới nên thời gian ngập nước kéo dài, làm tăng khả năng ứ đọng phèn của đất, đất ít bị phèn hóa.

***b. Đất trồng cây hàng năm khác***

Có diện tích 5.803 ha, chiếm 2,44% tổng diện tích tự nhiên, phân bố nhiều nhất trên địa bàn các huyện Ba Tri (2.516 ha), Thạnh Phú (1.194 ha), Bình Đại (918ha). Loại sử dụng đất này được canh tác trên tất cả các loại đất với loại cây trồng chính là mía, rau màu, khoai lang, bắp, cỏ chăn nuôi

***c. Đất trồng cây lâu năm***

Với diện tích 110.633 ha, chiếm 46,49% diện tích tự nhiên phân bố nhiều ở các huyện Giồng Trôm (23.133 ha), Mỏ Cày Nam (17.400 ha), Châu Thành (16.025 ha), Mỏ Cày Bắc (12.460 ha), Bình Đại (11.397 ha) Thạnh Phú (9.681 ha), Chợ Lách (9.116ha), Ba Thi (6.894 ha) và TP. Bến Tre (4.528 ha). Trong đó:

Cây ăn quả: Có diện tích 29.700 ha, chiếm 16,50% tổng diện tích đất nông nghiệp, phân bố nhiều ở các huyện Chợ Lách (8.062 ha), Châu Thành (7.410 ha) và Bình Đại (2.741 ha),... Loại sử dụng đất này được canh tác chủ yếu trên nhóm đất liếp.

Cây lâu năm khác: Có diện tích 80.935 ha, chiếm 44,97% tổng diện tích đất nông nghiệp, phân bố nhiều tại các huyện: Giồng Trôm (18.299 ha), Mỏ Cày Nam (15.618 ha), Mỏ Cày Bắc (9.718 ha), Châu Thành (8.631 ha),...được trồng trên đất lên liếp với cây trồng chủ yếu là dừa, ca cao và các loại cây lâu năm khác

***d. Đất rừng phòng hộ***

Với diện tích 3.510 ha, chiếm 1,47% diện tích tự nhiên phân bố ở các huyện Ba Thi (1.498 ha), Bình Đại (1.876 ha) và Thạnh Phú (136 ha).

***e. Đất rừng đặc dụng***

Với diện tích 2.413 ha, chiếm 1,01% diện tích tự nhiên chỉ có ở Thạnh Phú.

***f. Đất rừng sản xuất***

Với diện tích 1.230 ha, chiếm 1,01% diện tích tự nhiên phân bố chủ yếu ở huyện Bình Đại (1.155 ha).

***g. Đất nuôi trồng thủy sản:***

Có diện tích 33.696 ha, chiếm 14,19% tổng diện tích tự nhiên, tập trung nhiều ở các huyện Bình Đại (16.056 ha), Thạnh Phú (11.720 ha), Ba Tri (4.887 ha),...

#### ***h. Đất làm muối:***

Loại sử dụng đất làm muối có diện tích 1.457 ha, chiếm 0,81% tổng diện tích điều tra, phân bố ở khu vực ven biển thuộc địa bàn 2 huyện ven biển là Bình Đại (397ha) và Ba Tri (1.060 ha).

#### ***i. Đất nông nghiệp khác:***

Loại sử dụng đất nông nghiệp khác có diện tích 2.098 ha, chiếm 0,88% tổng diện tích nông nghiệp, phân bố chủ yếu ở huyện Chợ Lách (1.998 ha).

### **3.1.2. Hiện trạng sử dụng đất phi nông nghiệp**

Diện tích đất phi nông nghiệp 56.681 ha, chiếm 23,82% diện tích tự nhiên thể hiện chi tiết trong **Bảng 3.7**. Trong đó:

- Đất ở: 9.053 ha, gồm:
  - + Đất ở tại nông thôn: 8.372 ha.
  - + Đất ở tại đô thị: 681 ha.
- Đất chuyên dùng: 11.526 ha, gồm:
  - + Đất xây dựng trụ sở cơ quan: 178 ha;
  - + Đất Quốc phòng: 911 ha;
  - + Đất An ninh: 291 ha;
  - + Đất xây dựng công trình sự nghiệp: 655 ha;
  - + Đất sản xuất, kinh doanh phi nông nghiệp: 896 ha;
  - + Đất sử dụng vào mục đích công cộng: 8.596 ha.
- Đất cơ sở tôn giáo: 212 ha.
- Đất cơ sở tín ngưỡng: 109 ha.
- Đất làm nghĩa trang, nghĩa địa, nhà tang lễ, nhà hỏa táng: 680 ha.
- Đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối: 35.079 ha.
- Đất có mặt nước chuyên dùng: 22ha.

**Bảng 3.2. Hiện trạng sử dụng đất phi nông nghiệp năm 2019**

STT	Chỉ tiêu	Mã	Hiện trạng năm 2019	
			Diện tích (ha)	Cơ Cấu (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<b>I</b>	<b>Loại đất</b>			
<b>2</b>	<b>Đất phi nông nghiệp</b>	<b>PNN</b>	<b>56.681</b>	<b>100,00</b>
	<i>Trong đó:</i>			
2.1	Đất quốc phòng	CQP	911	1,61
2.2	Đất an ninh	CAN	291	0,51
2.3	Đất khu công nghiệp	SKK	238	0,42
2.4	Đất khu chế xuất	SKT	0	0,00
2.4	Đất cụm công nghiệp	SKN	41	0,07
2.5	Đất thương mại, dịch vụ	TMD	288	0,51
2.6	Đất cơ sở sản xuất phi nông nghiệp	SKC	329	0,58
2.8	Đất sản xuất vật liệu xây dựng, làm đồ gốm	SKX	1	0,00
2.9	Đất phát triển hạ tầng cấp quốc gia, cấp tỉnh, cấp huyện, cấp xã	DHT	10.088	17,80
2.9.1	Đất giao thông	DGT	4.595	8,11
2.9.2	Đất thủy lợi	DTL	3.816	6,73
2.9.3	Đất xây dựng cơ sở văn hóa	DVH	44	0,08
2.9.4	Đất xây dựng cơ sở y tế	DYT	74	0,13
2.9.5	Đất xây dựng cơ sở giáo dục và đào tạo	DGD	424	0,75
2.9.6	Đất xây dựng cơ sở thể dục thể thao	DTT	99	0,18
2.9.7	Đất công trình năng lượng	DNL	34	0,06
2.9.8	Đất công trình bưu chính viễn thông	DBV	9	0,02
2.9.9	Đất xây dựng kho dự trữ quốc gia	DKG	0	0,00
2.9.10	Đất có di tích lịch sử văn hóa	DDT	19	0,03
2.9.11	Đất bãi thải, xử lý chất thải	DRA	29	0,05
2.9.12	Đất cơ sở tôn giáo	TON	212	0,37
2.9.13	Đất làm nghĩa trang, nghĩa địa, nhà tang lễ, nhà hỏa táng	NTD	680	1,20
2.9.14	Đất xây dựng cơ sở khoa học và công nghệ	DKH	2	0,00
2.9.16	Đất chợ	DCH	52	0,09
2.10	Đất danh lam thắng cảnh	DDL	0	0,00
2.11	Đất ở tại nông thôn	ONT	8.372	14,77
2.12	Đất ở tại đô thị	ODT	681	1,20
2.13	Đất xây dựng trụ sở cơ quan	TSC	178	0,31
2.14	Đất xây dựng trụ sở của tổ chức sự nghiệp	DTS	11	0,02
2.15	Đất xây dựng cơ sở ngoại giao	DNG	0	0,00
2.16	Đất sinh hoạt cộng đồng	DSH	22	0,04
2.17	Đất khu vui chơi, giải trí công cộng	DKV	21	0,04
2.18	Đất cơ sở tín ngưỡng	TIN	109	0,19
2.19	Đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối	SON	35.079	61,89
2.20	Đất có mặt nước chuyên dùng	MNC	21	0,04
2.21	Đất phi nông nghiệp khác	PNK	0	0,00

(Nguồn: Kiểm kê đất đai năm 2019 tỉnh Bến Tre)

**a. Đất ở:**

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất ở: 8.808,61 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất ở: 9.067,54 ha, kết quả thực hiện cao hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 228,94 ha.

**Đất ở tại nông thôn:**

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất ở tại nông thôn: 7.877,42 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất ở tại nông thôn: 8.358,86 ha, kết quả thực hiện cao hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 481,44 ha.

**Đất ở tại đô thị:**

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất ở tại đô thị: 931,19 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất ở tại đô thị: 678,68 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 252,51 ha. Nguyên nhân do trong kỳ kiểm kê một số dự án xây dựng khu dân cư có diện tích lớn như dự án đầu tư phát triển khu đô thị mới phía Tây thành phố Bến Tre (tại Phường 5, Phường 6, Phường 7), dự án đầu tư phát triển khu đô thị mới – đô thị sinh thái (Eco2 Park) Bến Tre (tại Phường 8, phường Phú Khương), dự án đầu tư chỉnh trang và phát triển đô thị mới khu vực Tây Bắc, thành phố Bến Tre (tại phường Phú Khương, phường Phú Tân, Phường 6), Khu đô thị mới Đông Bắc Phú Khương (tại phường Phú Khương) được phân kỳ thực hiện trong giai đoạn 2016-2020 nhưng đến nay vẫn chưa triển khai thực hiện do chưa có nguồn vốn hoặc chưa có nhà đầu tư và chỉ tiêu chuyển mục đích sử dụng đất từ đất nông nghiệp sang đất kết quả thấp nên diện tích đất ở tại đô thị đạt kết quả thấp hơn sơ với chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch đề ra.

**b. Đất chuyên dùng:**

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất chuyên dùng: 13.586,13 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất chuyên dùng: 11.376,44 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 2.209,69 ha. Cụ thể:

**Đất xây dựng trụ sở cơ quan:**

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất xây dựng trụ sở cơ quan: 181,82 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất xây dựng trụ sở cơ quan: 177,62 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 4,20 ha.

**Đất Quốc phòng:**

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất Quốc phòng: 799,07 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất Quốc phòng: 911,58 ha, kết quả thực hiện cao hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 112,51 ha.

*Đất An ninh:*

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất an ninh: 305,20 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất An ninh: 290,38 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 14,83 ha.

*Đất xây dựng công trình sự nghiệp:*

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất xây dựng công trình sự nghiệp: 776,18 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất xây dựng công trình sự nghiệp: 646,64 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 129,54 ha.

*Đất sản xuất, kinh doanh phi nông nghiệp:*

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất sản xuất, kinh doanh phi nông nghiệp: 1.986,4 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất sản xuất, kinh doanh phi nông nghiệp: 861,52 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 1.124,88 ha. Cụ thể: Đất khu công nghiệp, Đất cụm công nghiệp, Đất thương mại, dịch vụ, Đất cơ sở sản xuất phi nông nghiệp: trên địa bàn tỉnh chưa thực hiện.

*Đất có mục đích công cộng:*

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất có mục đích công cộng: 9.537,44 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất có mục đích công cộng: 8.488,69 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 1.048,75 ha. Cụ thể:

- Đất giao thông: Chưa hoàn thành việc mở mới, mở rộng, cải tạo, nâng cấp các tuyến đường giao thông trên địa bàn tỉnh.

- Đất thủy lợi: Chưa hoàn thành việc mở mới, mở rộng, nâng cấp và nạo vét các tuyến bờ bao, đê bao.

- Đất chợ: Chưa xây dựng xong.

- Đất bãi thải, xử lý chất thải: do một huyện chưa hình thành Bãi rác.

- Đất khu vui chơi, giải trí công cộng: Chưa thực hiện công trình Công viên Khu trung tâm xã, Công viên khu trung tâm, Công viên khu trung tâm hành một số huyện chưa hình thành.

***c. Đất cơ sở tôn giáo:***

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất cơ sở tôn giáo: 182,25 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất cơ sở tôn giáo: 212,00 ha, kết quả thực hiện cao hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 26,75 ha.

***d. Đất cơ sở tín ngưỡng:***

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất cơ sở tín ngưỡng 117,60 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất cơ sở tín ngưỡng: 108,90 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 8,70 ha.

***e. Đất nghĩa trang, nghĩa địa, nhà tang lễ, nhà hỏa táng:***

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất nghĩa trang, nghĩa địa, nhà tang lễ, nhà hỏa táng: 692,26 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất nghĩa trang, nghĩa địa, nhà tang lễ, nhà hỏa táng: 681,05 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 11,21 ha.

***f. Đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối:***

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối: 36.548,36 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối: 35.183,21 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 1.365,15 ha.

***g. Đất có mặt nước chuyên dùng:***

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất có mặt nước chuyên dùng: 33,38 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất có mặt nước chuyên dùng: 21,92 ha, chưa đạt chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất đã đề ra do chưa hình thành hồ nước các xã thuộc huyện Ba Tri.

***h. Đất phi nông nghiệp khác:***

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất phi nông nghiệp khác: 0,09 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất phi nông nghiệp khác: 0,02 ha, kết quả thực hiện thấp hơn chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất 0,07 ha.



### ❖ **Nhóm đất chưa sử dụng (đất bằng chưa sử dụng):**

Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất năm 2019, diện tích đất chưa sử dụng: 370,87 ha. Kết quả kiểm kê đất đai năm 2019, diện tích đất chưa sử dụng: 1.341,64 ha kết quả thực hiện cao chỉ tiêu quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất đã đề ra do chưa chuyển đất bằng chưa sử dụng sang đất trồng cây lâu năm, đất nuôi trồng thủy sản.

## **3.2. Đánh giá thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 - 2019**

Đánh giá thay đổi sử dụng đất nhằm mục tiêu xác định xu thế hay quy luật thay đổi giữa các loại hình sử dụng đất và lớp phủ mặt đất trong quá khứ, cũng như xác định các yếu tố tác động làm thay đổi sử dụng đất. Nếu xem sử dụng đất là một hàm số thì thay đổi sử dụng đất được xác định là biến phụ thuộc và các yếu tố tác động dẫn đến thay đổi sử dụng đất là biến độc lập. Lịch sử biến động và các yếu tố tác động là cơ sở để xác định tiềm năng chuyển đổi sử dụng đất nhằm mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong tương lai. Cách tiếp cận thay đổi sử dụng đất bằng phương pháp viễn thám với việc sử dụng kết quả giải đoán ảnh đa thời gian được kiểm chứng bằng kết quả khảo sát thực địa và bản đồ kiểm kê đất đai qua các thời điểm 2009, 2019.

### **3.2.1. Giải đoán ảnh**

Để đánh giá thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 – 2019 Luận án tiến hành giải đoán ảnh các thời điểm 2009 và 2019. Ảnh Landsat 5 năm 2009 độ phân giải mặt đất 30m và ảnh Landsat 8 năm 2019 được sử dụng cho phân loại và đánh giá biến động đất đai giai đoạn 2009 – 2019. Bộ dữ liệu ảnh sau đó được xử lý và đưa vào phần mềm Envi. Để giảm các sai số tiềm năng, các ảnh được chọn cùng thời điểm mùa khô trong năm (Tháng 12/2009 và Tháng 01/2019). Ảnh Landsat 5 với 6 bands và Landsat 8 với 11 bands được đăng ký về cùng hệ tọa độ Universal Transverse Mercator (UTM), WGS84.

Lần lượt các bands (từ band 1 đến band 7) được cắt ranh theo vùng nghiên cứu. Các bands đơn phổ được nắn (Image registration) về cùng một hệ tọa độ làm cơ sở cho việc trộn bands (Layer stacking) hay phối màu để xây dựng ảnh đa phổ hay ảnh màu. Sáu bands (band 1, band 2, band 3, band 4, band 5, và band 7) của ảnh được chọn vì có cùng độ phân giải 30m, riêng các band 6 có độ phân giải 60 m và band 8 có độ phân giải 15m không được chọn vì độ phân giải không thống nhất. Để có được ảnh màu cần phải phối hay kết hợp 3 bands tương ứng với 3 màu cơ bản Red – Green – Blue. Như vậy sẽ có tổ hợp 3 trong 6 bands được phối với mục tiêu là thể hiện rõ nét nhất các đối tượng trên mặt đất cụ thể là có thể phân biệt hay nhận dạng được các loại hình sử dụng đất. Tổ hợp bands được lựa chọn sao cho có thể phân biệt rõ được các đối tượng: rừng, cây lâu năm, lúa (thực vật), đất trống, vùng đất xây dựng và phát triển dân cư, vùng nuôi trồng thủy sản và thủy hệ.

Ngoài ra thống kê ảnh cung cấp thông tin cần thiết cho phân tích ảnh. Đặc biệt mức độ tương quan giữa các bands rất hữu dụng trong nghiên cứu dư thừa dữ liệu cũng như chất lượng dữ liệu. Nghiên cứu áp dụng công thức OIF của Charvez 1982.

$$OIF = \sum_{i=1}^3 S_i / \sum_{j=1}^3 |R_j| \quad (3.1)$$

Trong đó:

$S_i$ : Độ lệch chuẩn của band  $i$  trong tổ hợp 3 band.

$|R_j|$ : Giá trị tuyệt đối của hệ số tương quan giữa tổ hợp 2 trong 3 bands.

Kết quả tổ hợp được chọn đối với ảnh Landsat 2009 là Band 5,4,3 (tương ứng R,G,B) và ảnh Landsat 2019 là Band 7,5,3 (tương ứng R,G,B). Ngoài ra các tổ hợp màu khác cũng được sử dụng để phục vụ cho việc chọn mẫu.

### **Chọn điểm mẫu**

Có nhiều kỹ thuật phân lớp ảnh như đã trình bày trong phần tổng quan tài liệu. Đề tài đã sử dụng phương pháp chọn các bands có độ tương phản cao nhất qua đó sẽ nhận dạng các loại hình sử dụng đất và chọn các điểm mẫu (training points) làm cơ sở cho việc xác định các vùng mẫu ROI (Region of Interesting).

Phương pháp phân loại Maximum Likelihood Classification (MLC) được sử dụng là phương pháp phân loại phổ biến vì những ưu điểm vượt trội của nó. Phương pháp phân loại này được xây dựng dựa trên cơ sở giả thuyết hàm mật độ xác suất tuân theo luật phân bố chuẩn. Mỗi pixel được tính xác suất thuộc vào một nhóm nào đó và được chỉ định gán tên nhóm mà xác suất thuộc vào nhóm đó là lớn nhất.

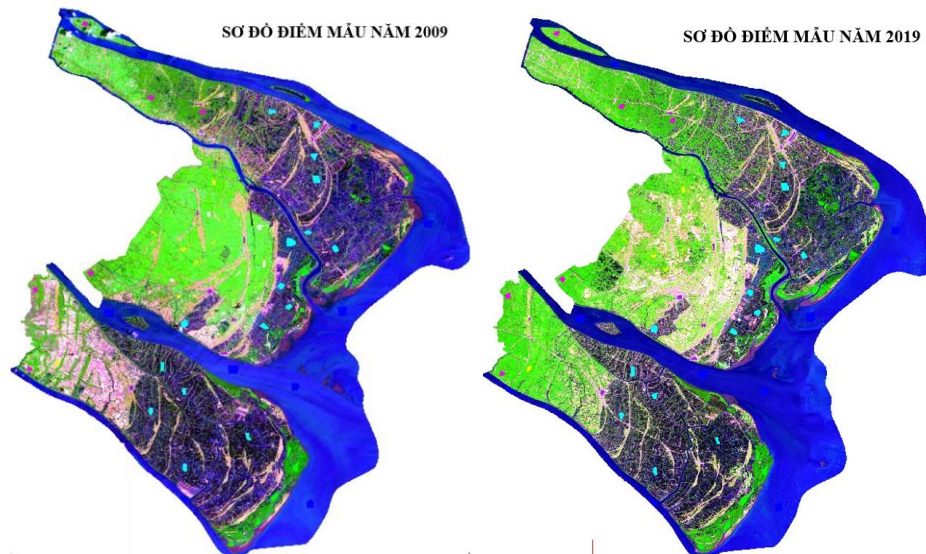
Các điểm mẫu được lựa chọn cho phương pháp phân loại có giám sát được tiến hành đối với 7 loại hình tương ứng. Việc khảo sát lấy mẫu ngoài thực địa nhằm mô tả đặc điểm phân bố của loại hình lớp phủ và sử dụng đất tương ứng. Nội dung quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác kết quả phân loại là việc khoanh các vùng mẫu trên tờ ảnh. Nghiên cứu đã sử dụng các nguồn tài liệu làm cơ sở cho việc khoanh các vùng mẫu (ROI – Region Of Interest) bao gồm: Ảnh Google earth được chọn tại thời điểm lấy mẫu (tháng 01/2019), bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2019 của tỉnh Bến Tre, các tài liệu có liên quan và kết quả điều tra thực địa. Số lượng vùng mẫu được khoanh 69 vùng (ROI) tương ứng với 23.516 pixel với diện tích 2.116,44ha thể hiện trong Bảng 3.3. Ngoài ra bản đồ sử dụng đất năm 2009, ảnh Google Earth năm 2009 và các tài liệu, kiến thức chuyên gia về địa bàn nghiên cứu cũng được sử dụng cho việc chọn điểm mẫu đối với ảnh 2009. Các tờ ảnh sau đó được phân loại và đánh giá độ chính xác phân loại.

**Bảng 3.3. Số lượng điểm mẫu phân theo loại hình SDD**

STT	Tên điểm mẫu (ROI)	Số lượng ROI	Số lượng Pixel	Diện tích (ha)
1	Đất lúa	7	1.267	114,03
2	Đất cây lâu năm	6	1.882	169,38
3	Đất trống	8	1.344	120,96
4	Đất rừng	12	3.235	291,15
5	Đất dân cư	10	1.519	136,71
6	Đất thủy sản	16	7.269	654,21
7	Thủy hệ	10	7.000	630,00
<b>Tổng cộng</b>		<b>69</b>	<b>23.516</b>	<b>2.116,44</b>

### Khảo sát và lấy mẫu ở thực địa

Việc lấy mẫu có tính chất quyết định tới kết quả phân loại, nó có thể được tiến hành ngay trên ảnh hoặc tiến hành ngoài thực địa. Các mẫu được chọn ngoài thực địa cho các loại hình sử dụng đất cần phải có sự khác biệt về cấu trúc tự nhiên và về phổ. Số lượng các điểm lấy mẫu của mỗi loại hình sử dụng đất cần phải phù hợp, nếu số lượng vùng mẫu quá ít sẽ không đảm bảo độ chính xác, ngược lại nếu nhiều quá sẽ làm tăng khối lượng tính toán lên rất nhiều và đôi khi làm nhiễu kết quả tính toán. Ngoài ra điểm lấy mẫu được lựa chọn phải đặc trưng cho đối tượng và phân bố đều trên khu vực nghiên cứu.



**Hình 3.1. Sơ đồ điểm mẫu 2009    Hình 3.2. Sơ đồ điểm mẫu 2019**

### Đánh giá độ chính xác phân loại

Độ chính xác phân loại được đánh giá bằng phương pháp lấy mẫu ngẫu nhiên. Các Pixel thuộc các vùng mẫu (ROI) của mỗi lớp được gọi là pixel mẫu hay pixel được huấn luyện

(training pixel). Ảnh Google earth độ phân giải cao kết hợp với bản đồ sử dụng đất khu vực nghiên cứu được sử dụng vừa làm cơ sở khoanh vùng mẫu vừa để kiểm tra kết quả phân loại. Để nâng cao độ chính xác, các vùng hay pixel bị phân loại nhầm vào các lớp phủ hay loại hình sử dụng đất khác sẽ được giải đoán bằng mắt kết hợp kiến thức chuyên gia hay những người am hiểu về khu vực nghiên cứu. Cuối cùng kết quả phân loại sẽ được so sánh với các vùng mẫu và dữ liệu tham chiếu sử dụng ma trận sai số. Các chỉ số sử dụng cho đánh giá độ chính xác kết quả phân loại ảnh Landsat 2009 và Landsat 2019 thể hiện trong Bảng 3.4 và Bảng 3.5.

**Bảng 3.4. Ma trận sai số phân loại ảnh Landsat 2009**

	Đất lúa	Đất cây lâu năm	Đất trống	Đất rừng	Đất thủy sản	Đất dân cư	Thủy hệ	Tổng	User's Accuracy
Đất lúa	351	136	31	6	0	0	0	557	63,02
Đất cây lâu năm	121	1347	38	87	96	5	3	1799	74,87
Đất trống	694	41	1275	0	0	41	0	2010	63,43
Đất rừng	2	236	0	2375	349	0	2	2968	80,02
Đất thủy sản	0	3	0	760	6610	0	81	7465	88,55
Đất dân cư	99	119	0	7	56	1040	0	1645	82,92
Thủy hệ	0	0	0	0	158	0	6914	7072	97,77
Tổng	1267	1882	1344	3235	7269	1086	7000	23516	
Producer's Acc (%)	27,70	71,57	94,87	73,42	90,93	89,80	98,77		

*Overall Accuracy = 86,0520% (20236/23516)*

*Kappa Coefficient = 0,8208*

**Bảng 3.5. Ma trận sai số phân loại ảnh Landsat 2019**

	Đất lúa	Đất cây lâu năm	Đất trống	Đất rừng	Đất thủy sản	Đất dân cư	Thủy hệ	Tổng	User's Accuracy
Đất lúa	1185	145	2	0	0	2	0	1513	88,83
Đất cây lâu năm	76	1571	2	270	45	8	0	1831	79,67
Đất trống	0	0	1285	0	0	55	0	409	95,90
Đất rừng	3	145	0	2943	34	0	0	3939	94,18
Đất thủy sản	0	11	0	22	7118	2	108	6054	98,03
Đất dân cư	3	10	55	0	44	1452	0	989	92,84
Thủy hệ	0	0	0	0	28	0	6892	3558	99,60
Tổng	1267	1882	1344	3235	7269	1519	7000	23516	
Producer's Acc (%)	93,53	83,48	95,61	90,97	97,92	95,59	98,46		

*Overall Accuracy = 95,4499% (22446/23516)*

*Kappa Coefficient = 0,9418*

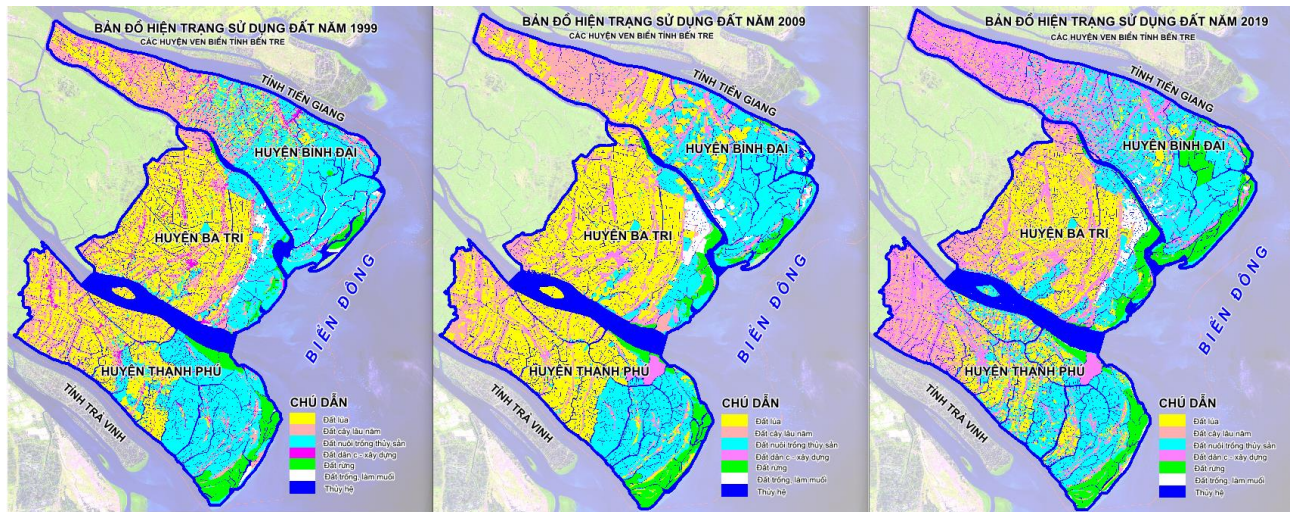
Từ kết quả phân loại ảnh, Luận Án tiến hành gom nhóm các loại đất nhằm sử dụng kết hợp dữ liệu ảnh viễn thám và bản đồ sử dụng đất được thành lập qua các kỳ kiểm kê đất đai (2009, 2019). Diện tích biến động giữa các loại đất được đánh giá thông qua số liệu chu chuyển đất đai trong khi thay đổi sử dụng đất phân bố theo không gian được xác định thông qua chức năng phân tích không gian của GIS trên đơn vị pixel. Mục đích của đánh giá thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 – 2019 là thống kê diện tích chu chuyển giữa các loại đất và xác định trạng thái thay đổi (thay đổi hoặc không thay đổi) giữa các loại đất theo đơn vị pixel. Các loại hình sử dụng đất theo kiểm kê đất đai năm 2019 được gộp lại thành 7 loại đất tương ứng với các dạng lớp phủ (thể hiện trong Bảng 3.10) có thể nhận dạng được trên ảnh Landsat với độ phân giải mặt đất 30m. Theo đó các loại hình sử dụng đất được gom nhóm như sau:

**Bảng 3.6. Gom nhóm các loại đất**

STT	Tên loại đất	Mã LD	Kí hiệu	Tên loại đất
1	Đất trồng lúa	LUA	1	Đất lúa
2	Đất trồng cây hàng năm khác	HNK		
3	Đất trồng cây lâu năm	CLN	2	Đất cây lâu năm
4	Đất rừng phòng hộ	RPH	3	Đất rừng
5	Đất rừng đặc dụng	RDD		
6	Đất rừng sản xuất	RSX		
7	Đất nuôi trồng thủy sản	NTS	4	Đất thủy sản
8	Đất nông nghiệp khác	NKH	5	Đất dân cư xây dựng
9	Đất quốc phòng	CQP		
10	Đất an ninh	CAN		
11	Đất khu công nghiệp	SKK		
12	Đất khu chế xuất	SKT		
13	Đất cụm công nghiệp	SKN		
14	Đất thương mại, dịch vụ	TMD		
15	Đất cơ sở sản xuất phi nông nghiệp	SKC		
16	Đất cho hoạt động khoáng sản	SKS		
17	Đất sản xuất vật liệu xây dựng, làm đồ gốm	SKX		
18	Đất phát triển hạ tầng cấp quốc gia, cấp tỉnh, cấp huyện, cấp xã	DHT		
19	Đất danh lam thắng cảnh	DDL		
20	Đất ở tại nông thôn	ONT		
21	Đất ở tại đô thị	ODT		
22	Đất xây dựng trụ sở cơ quan	TSC		
23	Đất xây dựng trụ sở của tổ chức sự nghiệp	DTS		
24	Đất xây dựng cơ sở ngoại giao	DNG		
25	Đất sinh hoạt cộng đồng	DSH		
26	Đất khu vui chơi, giải trí công cộng	DKV		

STT	Tên loại đất	Mã LĐ	Kí hiệu	Tên loại đất
27	Đất cơ sở tín ngưỡng	TIN		
28	Đất phi nông nghiệp khác	PNK		
29	Đất chưa sử dụng	CSD	6	Đất chưa sử dụng
30	Đất làm muối	LMU		
31	Đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối	SON	7	Thủy hệ
32	Đất có mặt nước chuyên dùng	MNC		

Bản đồ sau khi gom nhóm các loại đất được cập nhật tính toán lại diện tích và tách vùng nghiên cứu gồm 3 huyện Ba tri, Bình Đại và Thạnh Phú. Ảnh Landsat 2009 và 2019 lần lượt được sử dụng cập nhật và hiện chỉnh bản đồ hiện trạng sử dụng đất trước khi tiến hành đánh giá biến động đất đai.



**Hình 3.3. Bản đồ sử dụng đất qua các năm 1999, 2009, 2019**

Bản đồ sử dụng đất tại ba thời điểm năm 1999, năm 2009 và năm 2019 (Hình 3.3) sẽ được phân tích theo phân bố không gian và chu chuyển đất đai giữa các loại hình sử dụng đất. Mỗi loại sử dụng đất sẽ được bóc tách thành các lớp riêng phục vụ phân tích biến động từ đó sẽ thành lập bản đồ biến động sử dụng đất qua các giai đoạn. Hình 3.3 màu vàng thể hiện đất lúa phân bố chủ yếu ở huyện Ba Tri và Thạnh Phú giai đoạn 1999 – 2009. Màu xanh lam thể hiện đất nuôi trồng thủy sản phân bố ven biển ở hai huyện Bình Đại và Thạnh Phú. Đất trồng cây lâu năm và đất phát triển dân cư xây dựng tăng qua các giai đoạn.

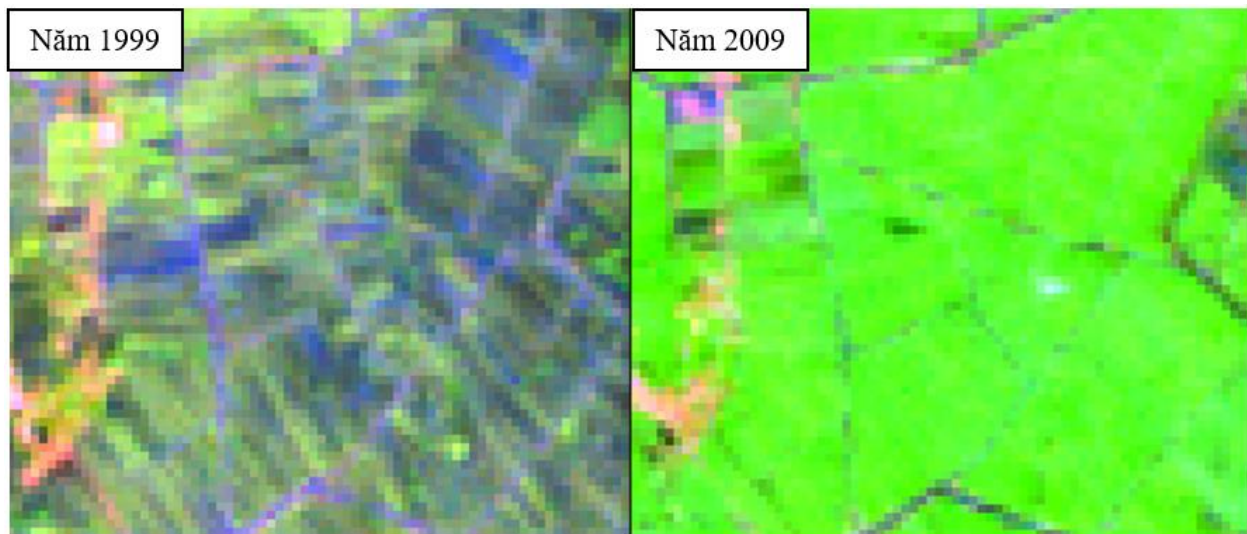
### 3.2.2. Chu chuyển đất đai

Từ kết quả gom nhóm các loại đất như trên, sử dụng chức năng Change Analysis của LCM để phân tích thay đổi sử dụng đất. Phân tích thay đổi được thực hiện hai giai đoạn 1999-2009 và 2009-2019. Kết quả phân tích thay đổi giai đoạn 1999-2009 nhằm phục vụ kiểm định

độ chính xác của mô hình và kết quả phân tích thay đổi giai đoạn 2009-2019 nhằm phục vụ mô phỏng sử dụng đất trong tương lai.

### 3.2.2.1. Giai đoạn 1999-2009

Thay đổi sử dụng đất giai đoạn 1999-2009 cho thấy đất cây lâu năm, đất thủy sản, đất trồng và đất thủy hệ có xu thế giảm trong khi ba loại đất bao gồm đất lúa, đất dân cư, và đất rừng có xu hướng tăng. Diện tích tăng mạnh nhất là đất lúa với diện tích 13.898ha trong khi diện tích giảm mạnh nhất là đất thủy sản với diện tích 8.269ha.

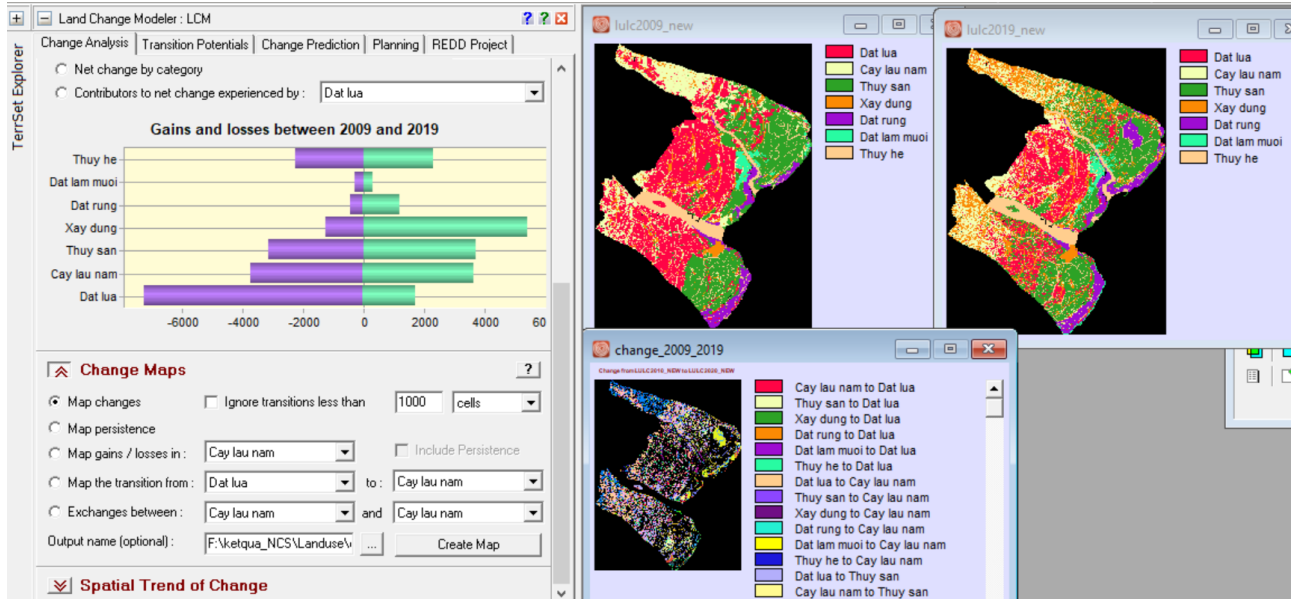


**Hình 3.4. Chuyển đất thủy sản sang đất trồng lúa tại huyện Ba Tri**

Hình 3.4. thể hiện sự chuyển đổi từ đất nuôi trồng thủy sản sang đất trồng lúa tại huyện Ba Tri giai đoạn 1999 – 2009. Chuyển đổi cơ cấu cây trồng trong giai đoạn này là tận dụng mặt nước nuôi trồng thủy sản nhằm tăng diện tích đất lúa ở những vùng lợ và kiểm soát được độ mặn. Chuyển diện tích lúa mạnh mún, đất bìa chéo và diện tích đất lúa nhiều năm qua năng suất thấp ở vùng lợ sang trồng cây ăn trái hoặc trồng mía, chuyển diện tích lúa 1 vụ vùng đất nhiễm mặn sang nuôi thủy sản. Tăng diện tích cây ăn trái (kể cả trên vùng ngọt, vùng lợ, đất giồng cát) theo hướng thâm canh, xen canh.

### 3.2.2.2. Giai đoạn 2009-2019

Giai đoạn 2009 – 2019 tình hình thiên tai có nhiều diễn biến phức tạp như hạn hán và xâm nhập mặn năm 2016 đã ảnh hưởng đáng kể đến sản xuất nông nghiệp của tỉnh Bến Tre nói chung và các huyện ven biển nói riêng. Trong đó diện tích trồng lúa bị ảnh hưởng nhiều nhất tại các huyện Ba Tri, Bình Đại và Thạnh Phú.



**Hình 3.5. Phân tích biến động giai đoạn 2009 – 2019**

Phân tích thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 – 2019 bằng mô hình LCM thể hiện trong Hình 3.5 cho thấy đất lúa, đất dân cư xây dựng, đất nuôi trồng thủy sản và đất cây lâu năm biến động nhiều nhất trong đó tăng mạnh nhất là đất dân cư xây dựng và giảm nhiều nhất là đất lúa. Tổng diện tích không biến động (không thay đổi mục đích sử dụng đất) giai đoạn 2009 – 2019 là 65.607,30ha, chiếm 60,65% diện tích vùng nghiên cứu. Loại đất biến động nhiều nhất là đất trồng cây lâu năm với tỷ lệ biến động là 63,09% trong khi loại đất ít biến động nhất là thủy hệ với tỷ lệ biến động 16,23% thể hiện trong Bảng 3.9.

**Bảng 3.7. Chu chuyển các loại đất giai đoạn 2009 - 2019**

Loại đất	Đất lúa	Cây lâu năm	Đất thủy sản	Đất dân cư - XD	Đất rừng	Đất trồng	Thủy hệ	Diện tích năm 2009	Cộng giảm	Biến động
Đất lúa	18.368,43	8.714,11	5.407,80	4.197,17	34,87	141,14	748,11	37.611,63	19.243,20	-15.942,54
Đất cây lâu năm	984,75	6.271,13	1.723,18	7.748,72	102,02	20,52	140,38	16.990,71	10.719,57	-163,92
Đất thủy sản	1.546,55	511,71	19.415,62	1.654,20	2.320,28	236,64	619,43	26.304,43	6.888,81	1.632,92
Đất dân cư – xây dựng	347,09	1.025,75	296,77	5.145,35	12,78	6,89	238,87	7.073,50	1.928,15	12.408,87
Đất rừng	60,85	21,01	274,86	119,11	4.188,14	258,55	92,58	5.015,10	826,96	2.302,79
Đất trồng	32,64	86,70	278,40	201,66	141,82	1.062,52	63,79	1.867,52	805,00	20,86
Thủy hệ	328,79	196,37	540,73	416,16	517,97	162,11	11.156,12	13.318,24	2.162,13	-258,97
<b>Diện tích 2019</b>	<b>21.669,09</b>	<b>16.826,79</b>	<b>27.937,35</b>	<b>19.482,37</b>	<b>7.317,89</b>	<b>1.888,38</b>	<b>13.059,27</b>	<b>108.181,13</b>		
Cộng tăng	3.300,66	10.555,66	8.521,73	14.337,02	3.129,75	825,86	1.903,15			

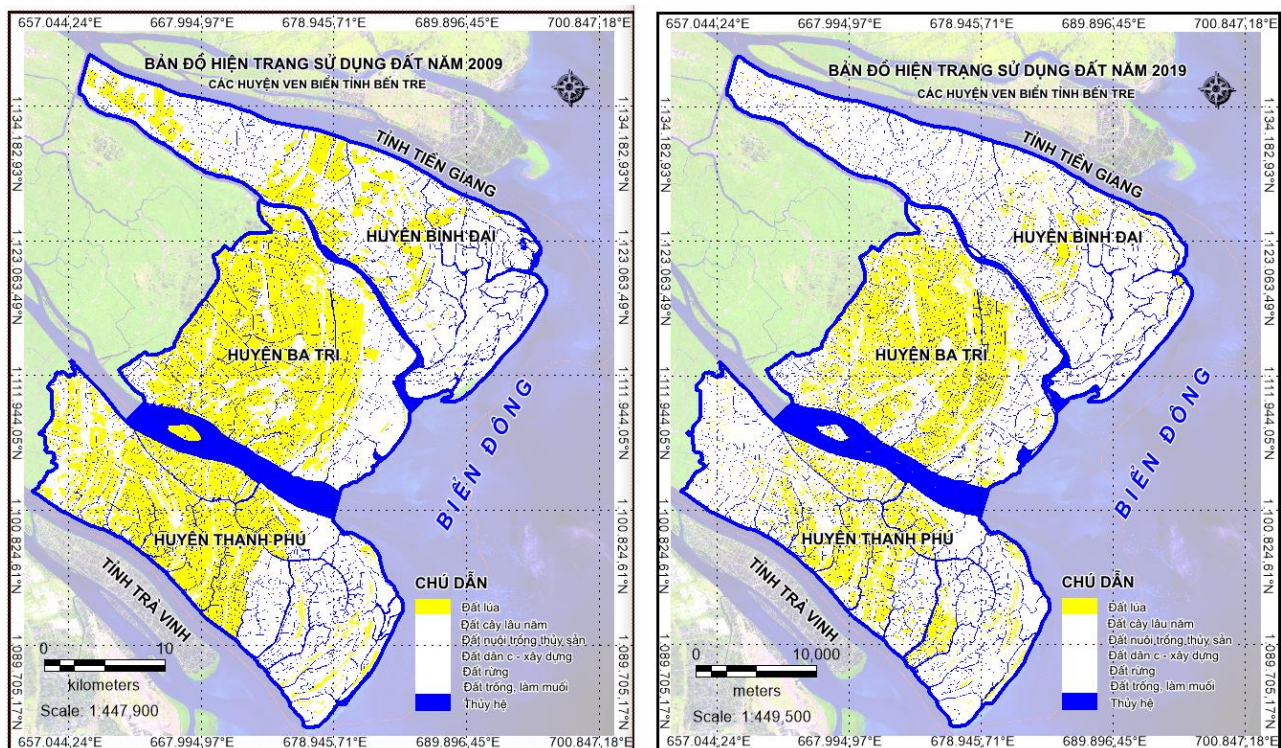
Do mô hình canh tác chủ yếu theo quy mô hộ gia đình nên diện tích phân bố khác mạnh mún (không tập trung). Đất trồng cây lâu năm giảm chủ yếu tại huyện Ba Tri và Thạnh Phú do diện tích đất bị nhiễm mặn nên người dân chuyển đổi sang nuôi trồng thủy sản kết hợp với trồng lúa 1 vụ. Đất nuôi trồng thủy sản chuyển sang các loại đất khác gồm đất trồng



cây lâu năm, đất dân cư xây dựng và một phần phân loại nhằm sang thủy hệ. Diện tích chuyên đổi phân bố đều trên cả 3 huyện nơi tiếp giáp với Biển Đông và các nhánh sông chính.

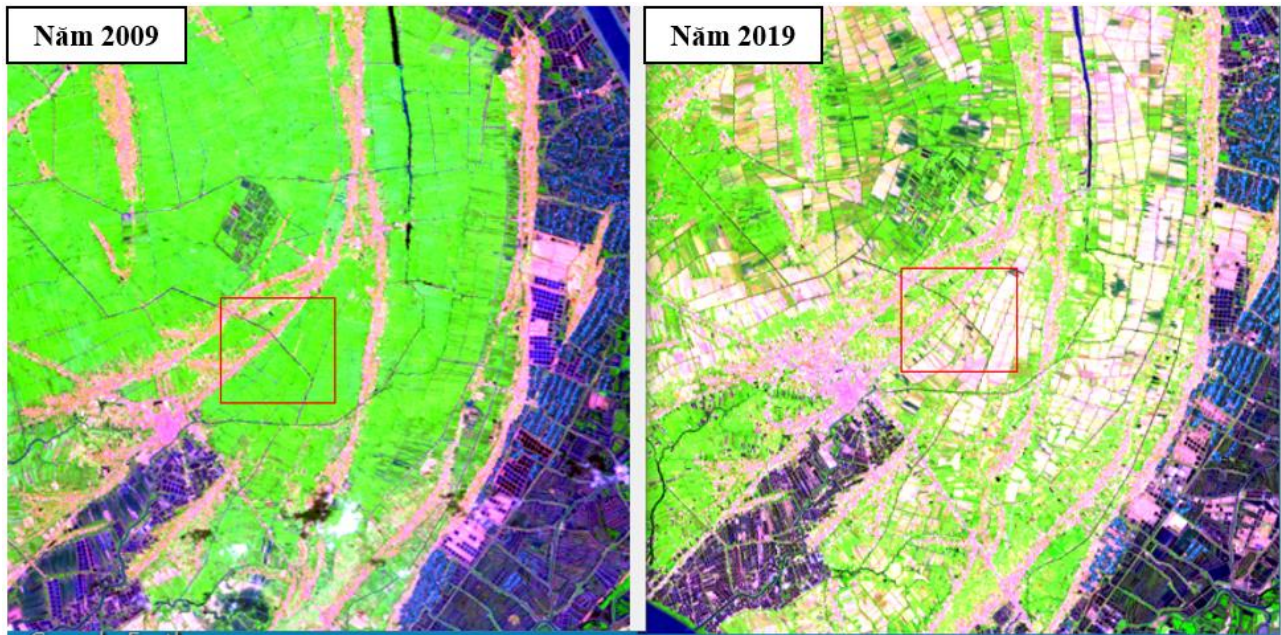
### a. Đất lúa

Biến động diện tích chủ yếu tập trung vào loại đất lúa chuyển sang đất nuôi trồng thủy sản tại huyện Ba Tri. Diện tích đất lúa giảm tại những nơi mà người dân không thể canh tác được do ảnh hưởng của xâm nhập mặn và hạn hán nên chuyển đổi từ trồng lúa sang các loại hình canh tác khác hiệu quả hơn đặc biệt là nuôi trồng thủy sản và cây ăn trái hoặc mở trang trại chăn nuôi là những loại hình canh tác đang được chính quyền địa phương khuyến khích.



**Hình 3.6. Thay đổi sử dụng đất trồng lúa 2009 - 2019**

Hình 3.6 cho thấy giai đoạn 2009 – 2019 diện tích đất lúa biến động 51,16% chuyển sang các loại đất khác trong đó chủ yếu là đất trồng cây lâu năm, đất nuôi trồng thủy sản và đất xây dựng. Diện tích chủ chuyển cụ thể như sau: Chuyển sang đất trồng cây lâu năm 8.714,11ha (23,17%), đất nuôi trồng thủy sản 5.407,80ha (14,38%), đất dân cư xây dựng 4.197,17ha (11,16%), đất rừng 34,87ha (0,09%), đất trồng (thực tế là đất làm muối) 141,14ha (0,38%) và thủy hệ (chủ yếu là hệ thống kênh mương thủy lợi và khu vực bị ngập nước) 748,11ha (1,99%).



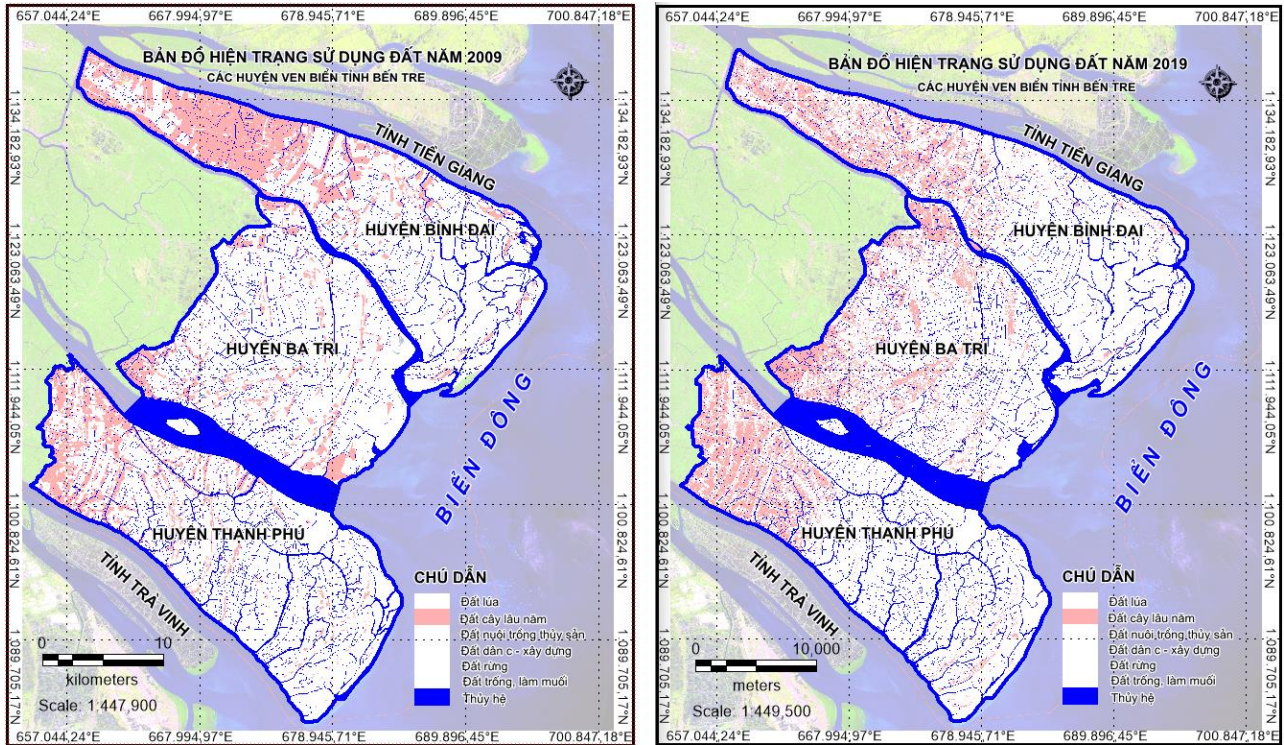
**Hình 3.7. Chuyển đất lúa sang đất trồng cây lâu năm và dân cư xây dựng tại huyện Ba Tri năm 2009-2019**

Hình 3.7 thể hiện vị trí đất lúa chuyển sang các loại đất khác giai đoạn 2009 – 2019 tại huyện Ba Tri. Trong giai đoạn này do ảnh hưởng của hạn hán và xâm nhập mặn năm 2016 đã ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp nói chung và đất trồng lúa nói riêng đã làm cho diện tích đất trồng lúa giảm đáng kể.

### **b. Đất trồng cây lâu năm**

Chuyển đổi cơ cấu cây trồng trong giai đoạn này là tận dụng mặt nước nuôi trồng thủy sản nhằm tăng diện tích đất lúa ở những vùng lợ và kiểm soát được độ mặn. Chuyển diện tích lúa manh mún, đất bìa chéo và diện tích đất lúa nhiều năm qua năng suất thấp ở vùng lợ sang trồng cây ăn trái hoặc trồng mía, chuyển diện tích lúa 1 vụ vùng đất nhiễm mặn sang nuôi thủy sản. Tăng diện tích cây ăn trái (kể cả trên vùng ngọt, vùng lợ, đất giồng cát) theo hướng thâm canh, xen canh.

Đất trồng cây lâu năm theo số liệu tính toán từ bản đồ kiểm kê đất đai và cập nhật chỉnh lý từ ảnh vệ tinh là 16.826,79ha, có tỷ lệ biến động cao nhất trong các loại đất (63,09%) với diện tích tăng là 10.555,66ha và diện tích giảm là 10.719,57ha. Diện tích tăng do lấy từ các loại đất còn lại trong đó chủ yếu lấy từ đất trồng lúa với diện tích 8.714,11ha, đất dân cư xây dựng 1.025,75ha. Diện tích giảm do chuyển sang các loại đất trong đó chủ yếu là đất thủy sản với diện tích 1.723,18ha và đất dân cư 7.748,72ha.

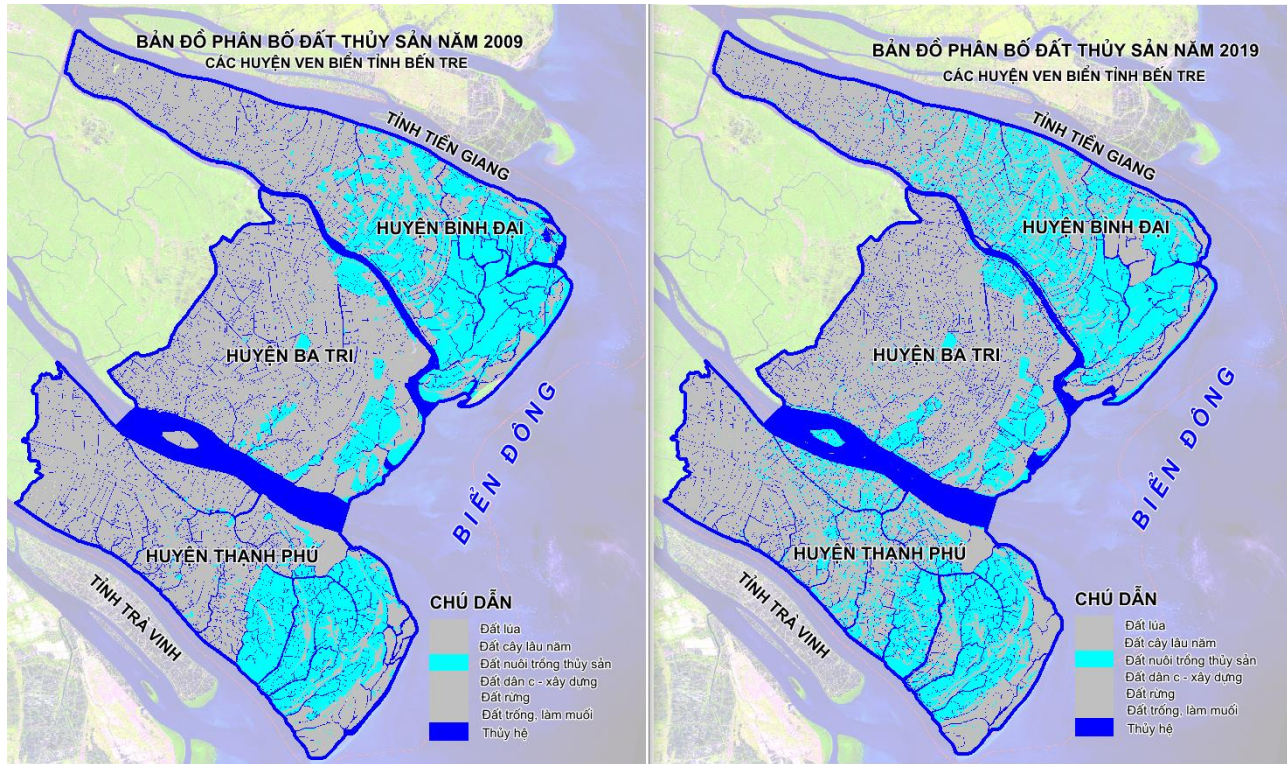


**Hình 3.8. Thay đổi sử dụng đất trồng cây lâu năm 2009 - 2019**

Thay đổi sử dụng đất trồng cây lâu năm thể hiện ở Hình 3.8 diễn ra chủ yếu tại phía Tây – Bắc khu vực nghiên cứu nơi tiếp giáp vùng trồng cây lâu năm các huyện Giồng Trôm, Mỏ Cày Bắc và Châu Thành. Diện tích tăng tại các huyện Thanh Phú và Ba Tri tại các khu vực đất trống (thuộc huyện Thanh Phú) và đất lúa sản xuất không hiệu quả (tại huyện Ba Tri) trong khi đó diện tích lại giảm tại huyện Bình Đại một phần do chuyển sang nuôi trồng thủy sản và phát triển dân cư – xây dựng.

### c. Đất nuôi trồng thủy sản

Diện tích đất nuôi trồng thủy sản năm 2009 là 26.304,43 phân bố chủ yếu tại hai huyện Bình Đại và Thanh Phú theo các nhánh sông chính nơi tiếp giáp với biển đông. Năm 2019 diện tích tăng 1.632,92ha phân bố mạnh mẽ và có xu hướng mở rộng về hướng thượng lưu các sông chính vẫn tập trung tại hai huyện Bình Đại và Thanh Phú. Diện tích đất nuôi trồng thủy sản năm 2019 là 27.927,35ha.



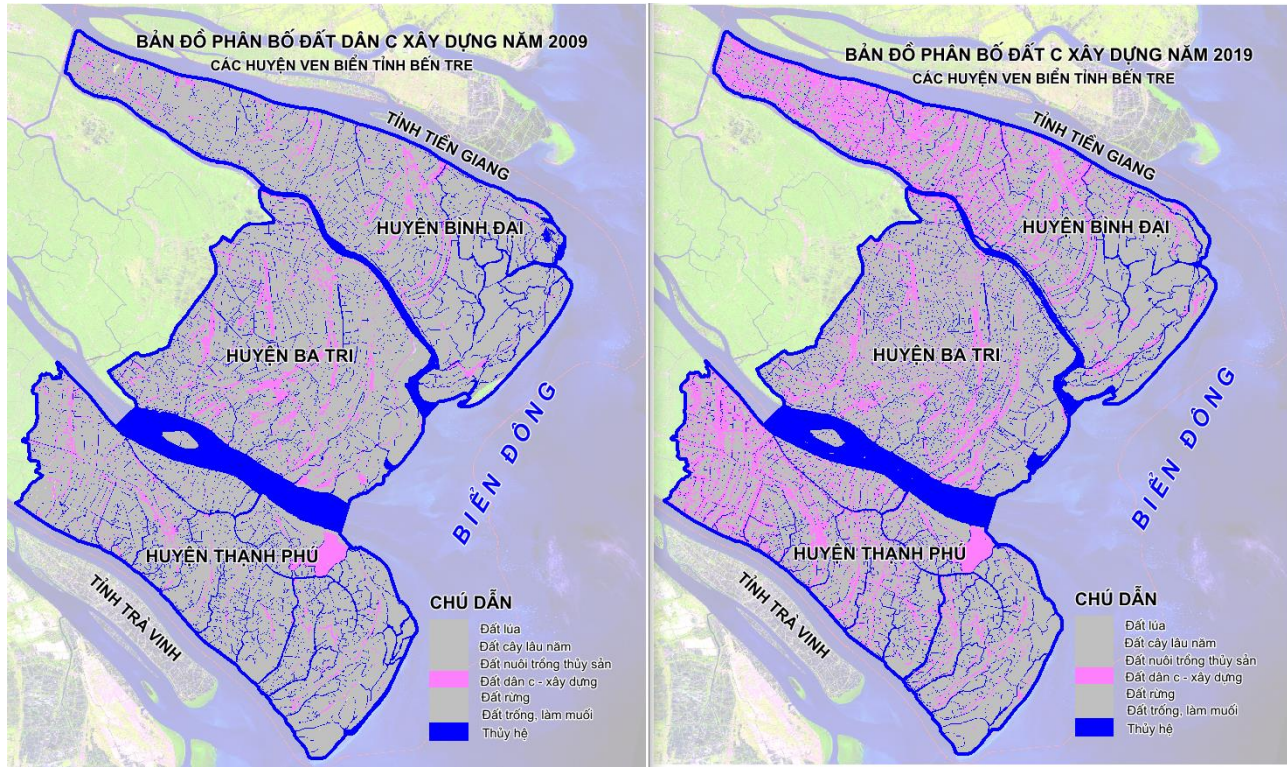
**Hình 3.9. Thay đổi sử dụng đất thủy sản năm 2009 – 2019**

Diện tích đất nuôi trồng thủy sản tăng giai đoạn 2009 – 2019 là 8.521,73ha do lấy từ các loại đất: Đất lúa 5.407,80ha; đất trồng cây lâu năm 1.723,18ha; đất dân cư xây dựng 296,77ha (thực tế đây là các trang trại thủy sản được thống kê vào đất nông nghiệp khác); đất rừng 274,86ha; đất trồng và đất làm muối 278,40ha; đất thủy hệ 540,73ha. Thay đổi sử dụng đất thủy sản thể hiện ở Hình 3.9. Diện tích tăng tập trung ven các nhánh sông chính thuộc huyện Thanh Phú và Bình Đại trong khi diện tích tại huyện Ba Tri không thay đổi nhiều.

#### **d. Đất dân cư xây dựng**

Đất dân cư xây dựng được phân loại trong nghiên cứu gần như là đất phi nông nghiệp trong phân loại đất đai trong kiểm kê đất đai. Đây là loại đất biến động nhiều nhất trong giai đoạn 2009 – 2019. Đặc điểm phân bố dân cư của tỉnh Bến Tre nói riêng và đồng bằng sông Cửu Long nói chung với hai hình thức bao gồm phân bố tập trung tại các khu đô thị, khu trung tâm thị tứ và hình thức phân bố theo tuyến dọc theo các trục đường giao thông chính. Đặc biệt với địa bàn nghiên cứu có đặc điểm các tuyến đường giao thông dọc theo hệ thống kênh và đê bao nên đây cũng là nơi tập trung phát triển dân cư – xây dựng thể hiện chi tiết trong Hình 3.10. Diện tích đất dân cư – xây dựng năm 2009 là 7.073,50ha, diện tích này năm

2019 là 19.482,37ha, tăng 12.408,87ha so với năm 2009. Diện tích tăng giảm được giải trình cụ thể như sau:

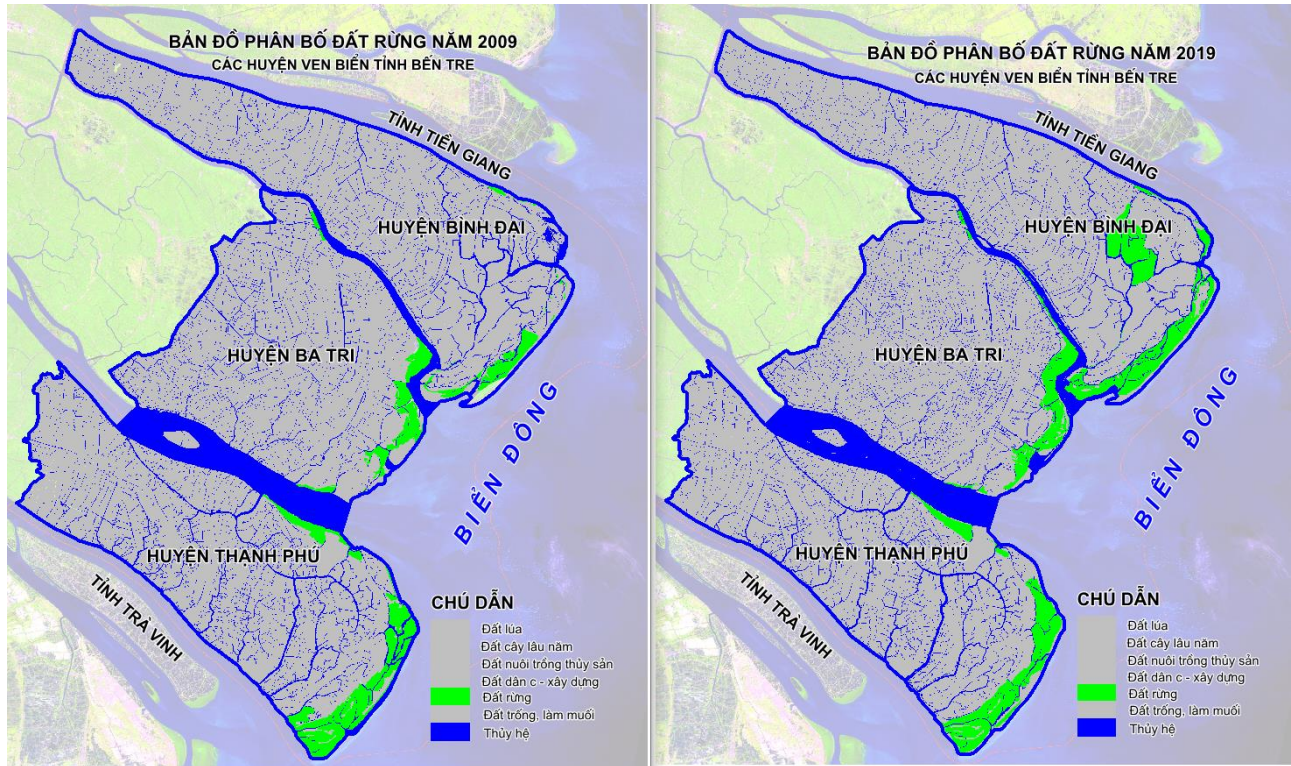


**Hình 3.10. Thay đổi sử dụng đất dân cư – xây dựng giai đoạn 2009 – 2019**

Diện tích đất dân cư - xây dựng giai đoạn 2009 – 2019 tăng 14.337,02ha do sử dụng từ các loại đất: đất trồng lúa 4.197,17ha, đất trồng cây lâu năm 7.748,72ha, đất nuôi trồng thủy sản 1.654,20ha, đất rừng 119,11ha, đất trồng và đất làm muối 201,66ha, thủy hệ 416,16ha. Diện tích giảm 1.928,15ha do chuyển sang các loại đất: đất trồng lúa 347,09ha, đất trồng cây lâu năm 1.025,75ha, đất nuôi trồng thủy sản 296,77ha, đất rừng 12,78ha, đất trồng và đất làm muối 6,89ha, thủy hệ 238,87ha. Như đã giải thích trên, đất dân cư xây dựng được gom nhóm từ hầu hết các loại đất phi nông nghiệp, và cả đất nông nghiệp khác. Trong đó có các loại đất có thể giảm như đất phi nông nghiệp khác và đất nông nghiệp khác.

#### e. Đất rừng

Đất rừng khu vực nghiên cứu bao gồm rừng sản xuất, rừng phòng hộ và rừng đặc dụng phân bố dọc theo bờ biển và một số cửa sông chính bao gồm Cửa Đại và Hàm Luông thể hiện ở Hình 3.11. Rừng phòng hộ chủ yếu là rừng đước. Diện tích đất rừng năm 2009 là 5.015,10ha, diện tích năm 2019 là 7.317,89ha, tăng 2.302,79ha so với năm 2009. Diện tích tăng giảm được giải trình cụ thể như sau:

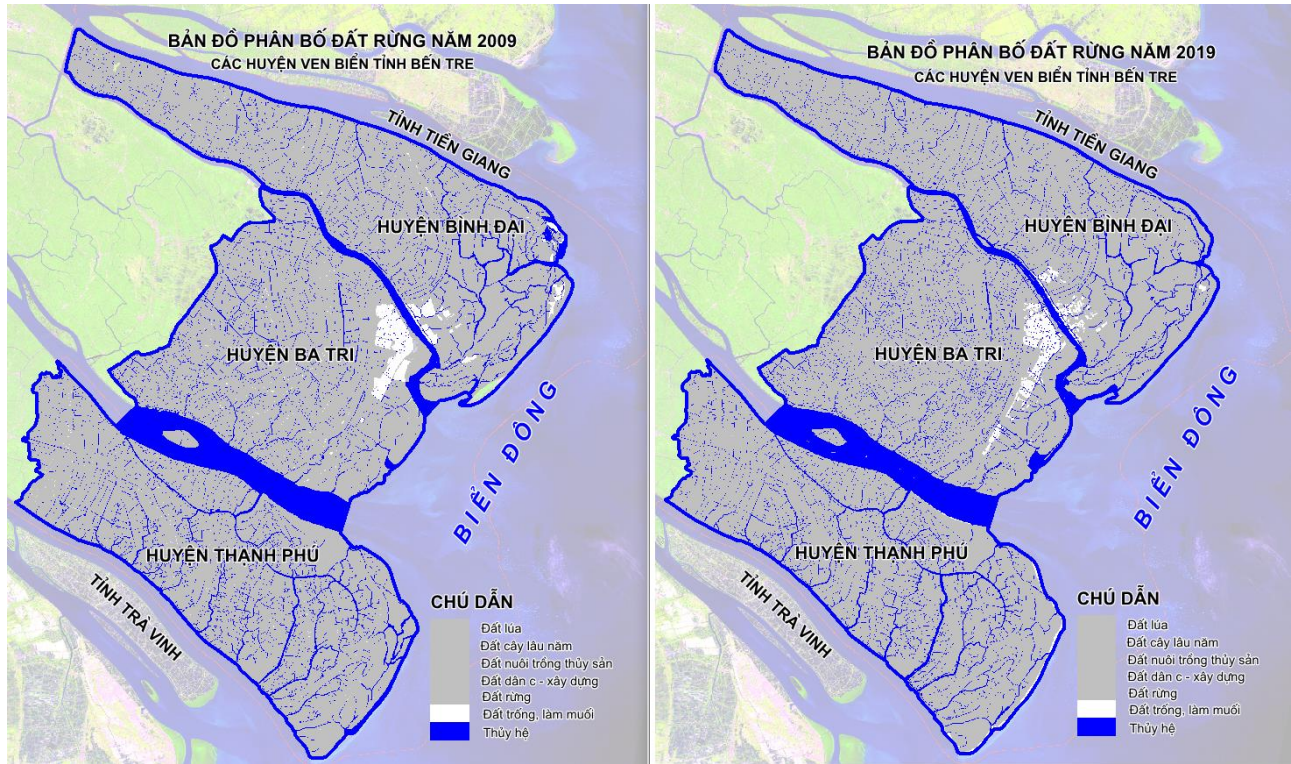


**Hình 3.11. Thay đổi sử dụng đất rừng giai đoạn 2009 – 2019**

Diện tích đất rừng giai đoạn 2009 – 2019 tăng 3.129,75ha do sử dụng từ các loại đất: đất trồng lúa 34,87ha, đất trồng cây lâu năm 102,02ha, đất nuôi trồng thủy sản 2.320,28ha, đất dân cư xây dựng 12,78ha, đất trồng và đất làm muối 141,82ha, thủy hệ 517,97ha. Diện tích giảm 826,96ha do chuyển sang các loại đất: đất trồng lúa 60,85ha, đất trồng cây lâu năm 21,01ha, đất nuôi trồng thủy sản 274,86ha, đất dân cư – xây dựng 119,11ha, đất trồng và đất làm muối 258,55ha, thủy hệ 92,58ha.

#### **f. Đất trồng – đất làm muối:**

Đất trồng và đất làm muối khu vực nghiên cứu chủ yếu là đất làm muối phân bố chủ yếu ở hai huyện Bình Đại và Ba Tri thể hiện ở Hình 3.12. Diện tích đất trồng và đất làm muối năm 2009 là 1.867,52ha, diện tích năm 2019 là 1.888,38ha, tăng 20,86ha so với năm 2009. Diện tích tăng giảm được giải trình cụ thể như sau:

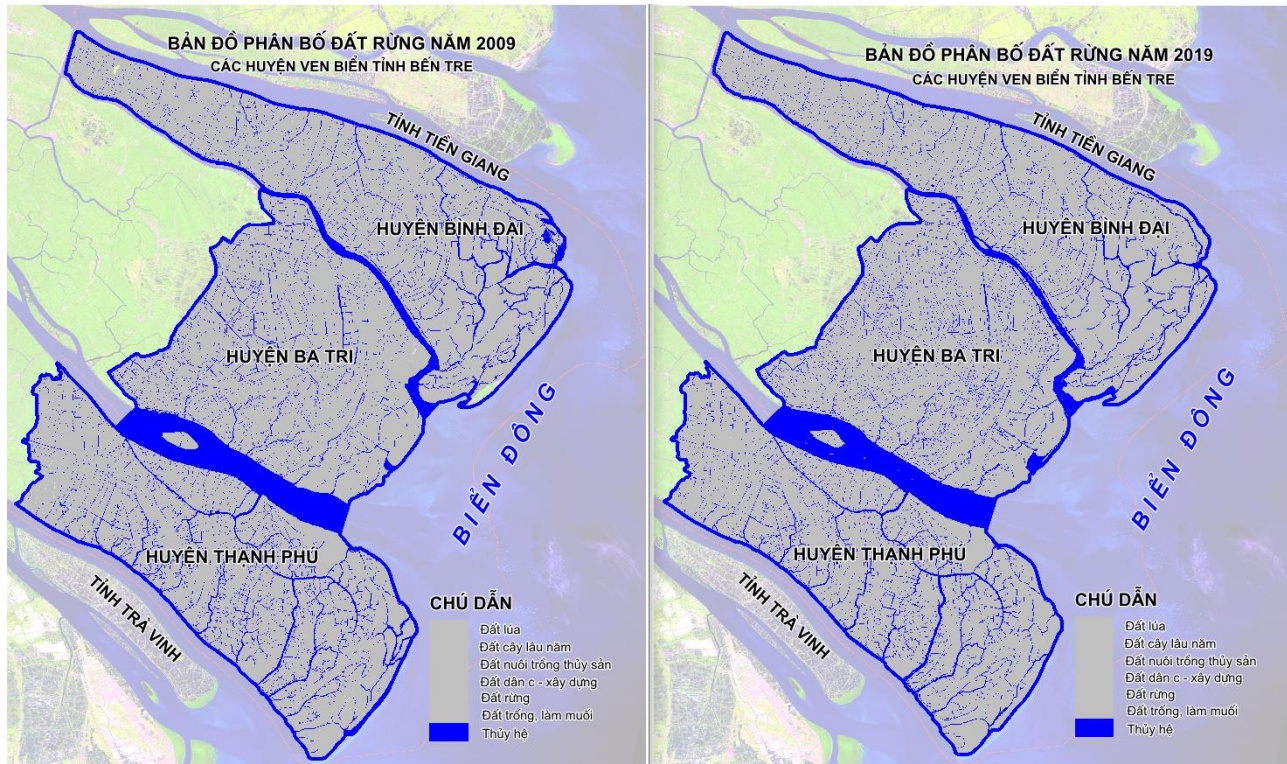


**Hình 3.12. Thay đổi sử dụng đất trồng giai đoạn 2009 – 2019**

Diện tích đất trồng và đất làm muối giai đoạn 2009 – 2019 tăng 825,86ha do sử dụng từ các loại đất: đất trồng lúa 141,14ha, đất trồng cây lâu năm 20,52ha, đất nuôi trồng thủy sản 336,64ha, đất dân cư xây dựng 6,89ha, đất rừng 258,55ha, thủy hệ 162,11ha. Diện tích giảm 805,00ha do chuyển sang các loại đất: đất trồng lúa 32,64ha, đất trồng cây lâu năm 86,70ha, đất nuôi trồng thủy sản 278,40ha, đất dân cư – xây dựng 201,66ha, đất rừng 141,82ha, thủy hệ 63,79ha.

### **g. Thủy hệ**

Thủy hệ trong khu vực nghiên cứu bao gồm sông, rạch, kênh, mương, ao hồ và mặt nước chuyên dùng thể hiện ở Hình 3.13. Diện tích thủy hệ năm 2009 là 13.059,27ha, diện tích năm 2019 là 13.318,24ha, giảm 258,97ha so với năm 2009. Diện tích tăng giảm được giải trình cụ thể như sau:



**Hình 3.13. Thay đổi sử dụng đất thủy hệ giai đoạn 2009 – 2019**

Diện tích thủy hệ giai đoạn 2009 – 2019 tăng 1.903,15ha do sử dụng từ các loại đất: đất trồng lúa 748,11ha, đất trồng cây lâu năm 140,38ha, đất nuôi trồng thủy sản 619,43ha, đất dân cư xây dựng 238,87ha, đất rừng 92,58ha, đất trồng và đất làm muối 63,79ha. Diện tích giảm 2.162,13ha do chuyển sang các loại đất: đất trồng lúa 328,79ha, đất trồng cây lâu năm 196,37ha, đất nuôi trồng thủy sản 540,73ha, đất dân cư – xây dựng 416,16ha, đất rừng 517,97ha, đất trồng và đất làm muối 162,11ha.

### 3.2.3. Phân tích thay đổi sử dụng đất

Do mô hình canh tác chủ yếu theo quy mô hộ gia đình nên diện tích phân bố khác mạnh mún (không tập trung). Đất trồng cây lâu năm giảm chủ yếu tại huyện Ba Tri và Thạnh Phú do diện tích đất bị nhiễm mặn nên người dân chuyển đổi sang nuôi trồng thủy sản kết hợp với trồng lúa 1 vụ. Đất nuôi trồng thủy sản chuyển sang các loại đất khác gồm đất trồng cây lâu năm, đất dân cư xây dựng và một phần phân loại nhầm sang thủy hệ. Diện tích chuyển đổi phân bố đều trên cả 3 huyện nơi tiếp giáp với Biển Đông và các nhánh sông chính.



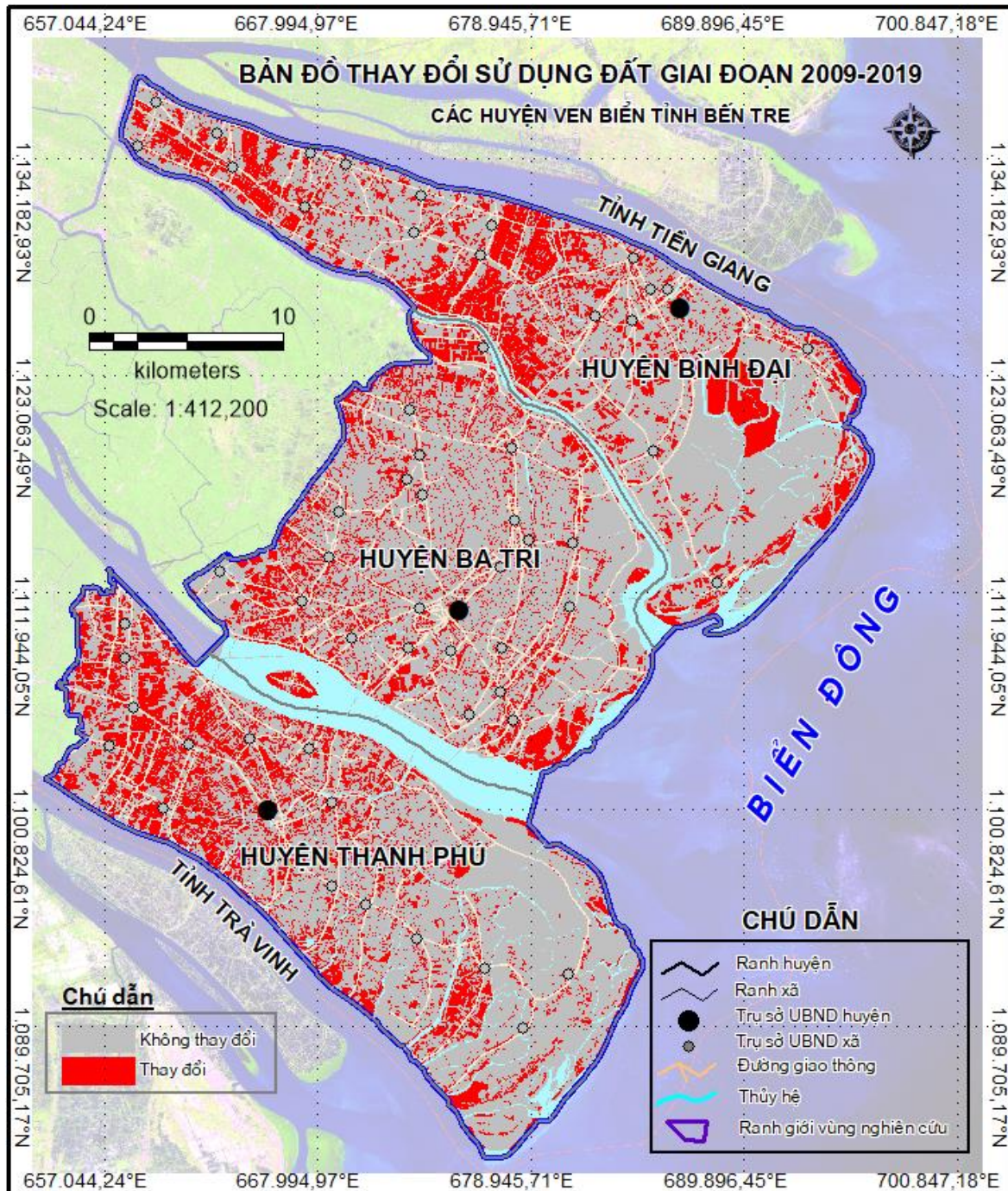


**Hình 3.14. Biến động diện tích các loại đất giai đoạn 1999-2009-2019**

Hình 3.14 cho thấy xu thế biến động các loại đất trong giai đoạn 1999-2019 theo hai xu thế tăng và giảm. Theo đó các loại đất có xu thế tăng trong giai đoạn này bao gồm đất dân cư xây dựng và đất rừng. Các loại đất còn lại có xu thế giảm bao gồm đất lúa, đất trồng cây lâu năm, đất nuôi trồng thủy sản, đất trồng và thủy hệ.

Giai đoạn này Bến Tre đã xác định mục tiêu cần đẩy mạnh phát triển nông nghiệp theo hướng nâng cao giá trị gia tăng, phát triển bền vững và triển khai đồng bộ các giải pháp, thực

hiện tái cơ cấu nông nghiệp gắn với xây dựng nông thôn mới. Theo đó, tỉnh đã thực hiện Đề án tái cơ cấu ngành nông nghiệp theo hướng nâng cao giá trị gia tăng và hiệu quả bền vững gắn với phát triển chuỗi giá trị sản phẩm giai đoạn 2011 – 2015 và định hướng đến năm 2020.



**Hình 3.15. Bản đồ thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 - 2019**

Hình 3.15 thể hiện thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009 – 2019 khu vực nghiên cứu cho thấy hai trạng thái thay đổi (màu đỏ) và không thay đổi (màu xám). Trong giai đoạn này,

địa phương đã chuyển đổi thành công nhiều diện tích đất lúa sản xuất kém hiệu quả sang canh tác các loại cây trồng chủ lực phù hợp với thổ nhưỡng mang lại giá trị kinh tế cao, góp phần từng bước cải thiện cuộc sống cho người dân và xây dựng thành công chương trình nông thôn mới. Phần diện tích chuyển đổi được người dân tập trung trồng dưa, bưởi da xanh, măng cầu xiêm, rau màu và trồng cỏ nuôi bò. Hầu hết các mô hình, đối tượng trên diện tích chuyển đổi sau thời gian canh tác đều cho nông dân nguồn thu nhập cao hơn gấp 3 lần so với trồng lúa trước đây.

Diện tích lúa, mía giảm dần để chuyển sang trồng dưa và các loại khác có hiệu quả hơn như cây ăn trái, rau màu,... Diện tích cây ăn trái tăng và phát triển theo hướng chuyên canh, trồng các loại cây đặc sản có giá trị cao (nhãn, chôm chôm, sầu riêng, bưởi da xanh,...), sản xuất theo hướng an toàn sinh học, tiêu chuẩn GAP, phục vụ nhu cầu tiêu thụ trong nước và xuất khẩu, kết hợp phát triển du lịch. Trong đó:

+ Cây lúa: Tổng diện tích gieo trồng năm 2019 ước đạt 31.171 ha, sản lượng 135.314 tấn. So với năm 2009 diện tích lúa giảm 15.264 ha, sản lượng giảm 91.959 tấn. Diện tích sản lượng lúa giảm do chuyển đất lúa sang cây trồng khác và nuôi thủy sản, đồng thời thực hiện chủ trương xuống giống 02 vụ/năm (một số nơi không xuống giống vụ Đông Xuân để tránh bị thiệt hại do hạn mặn). Trong thời gian qua diện tích lúa giảm phù hợp với chủ trương và định hướng của tỉnh.

+ Cây rau màu: Tổng diện tích trồng rau năm 2019 là 2.494 ha với tổng sản lượng ước đạt 110.000 tấn. So với năm 2009, diện tích trồng rau giảm 450 ha, sản lượng giảm 5.337 tấn. Sản lượng rau năm 2019 giảm đáng kể do tình hình xâm nhập mặn gay gắt mùa khô năm 2015 – 2016 dẫn đến một số diện tích rau bị thiệt hại, một số còn lại phải thu hoạch sớm, bên cạnh đó hạn mặn kéo dài nên không thể trồng vụ mới trong 6 tháng đầu năm 2019.

+ Cây lâu năm: Năm 2019 diện tích cây lâu năm ước đạt 29.318 ha; sản lượng ước đạt 610.000 tấn. So với năm 2009, diện tích cây lâu năm tăng lên 2.152 ha, sản lượng tăng 40.275 tấn. Trong đó diện tích dưa uống nước hiện nay khoảng 10.880 ha, trong đó dưa xiêm khoảng 8.000 ha. Trong những năm qua diện tích dưa sản xuất theo hướng hữu cơ tăng nhanh, đến nay diện tích vùng dưa hữu cơ đạt 8.691,3 ha; cây ăn trái: tổng diện tích cây ăn trái khoảng 2.800 ha, sản lượng 310.000 tấn. So với năm 2009, ước diện tích cây ăn trái giảm 283 ha, sản lượng giảm 655 tấn. Sản lượng trái cây giảm chủ yếu do quá trình chuyển đổi cơ cấu cây trồng diện tích cho thu hoạch còn thấp và ảnh hưởng của hạn mặn mùa khô năm 2015-2016.

### 3.3. Đánh giá các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu giai đoạn 2009 – 2019 các huyện ven biển tỉnh Bến Tre

Sự thay đổi sử dụng đất chịu tác động bởi nhiều yếu tố trong đó có cả yếu tố tự nhiên và yếu tố do con người gây ra. Nghiên cứu chỉ tập trung đánh giá yếu tố tự nhiên. Mỗi một yếu tố như vậy được xem là một biến giải thích trong mô hình và được đưa vào các mô hình phụ (được biết đến là các mô hình chuyển đổi cụ thể giữa các loại hình sử dụng đất). Các biến điều khiển ảnh hưởng đến các thay đổi dựa trên phân tích không gian và được thêm vào mô hình dưới dạng các thành phần tĩnh hoặc động (Eastman, 2020). Dự đoán LULC trong khu vực nghiên cứu dựa trên sự thay đổi trong tác động của các yếu tố.

#### 3.3.1. Phân cấp giá trị các yếu tố tác động

Đánh giá thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu, nhằm mục đích xác định diện tích chu chuyển giữa các loại đất và mối tương quan giữa thay đổi sử dụng đất với các yếu tố tác động. Nghiên cứu xác định sử dụng đất là một hàm số với các biến là thay đổi sử dụng đất và các yếu tố tác động. Các yếu tố tác động được giới hạn là các yếu tố tự nhiên do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Để xác định mối tương quan giữa thay đổi sử dụng đất với các yếu tố tác động, nghiên cứu sử dụng phương pháp hồi quy logistic nhị phân với biến phụ thuộc là thay đổi sử dụng đất được xác định ở hai trạng thái là “thay đổi” và “không thay đổi” và biến độc lập là các yếu tố tác động bao gồm: Nhiệt độ trung bình, Lượng mưa trung bình, Mức độ ngập lụt, Hạn hán và Xâm nhập mặn.

**Bảng 3.8. Phân cấp các biến độc lập trong mô hình hồi quy**

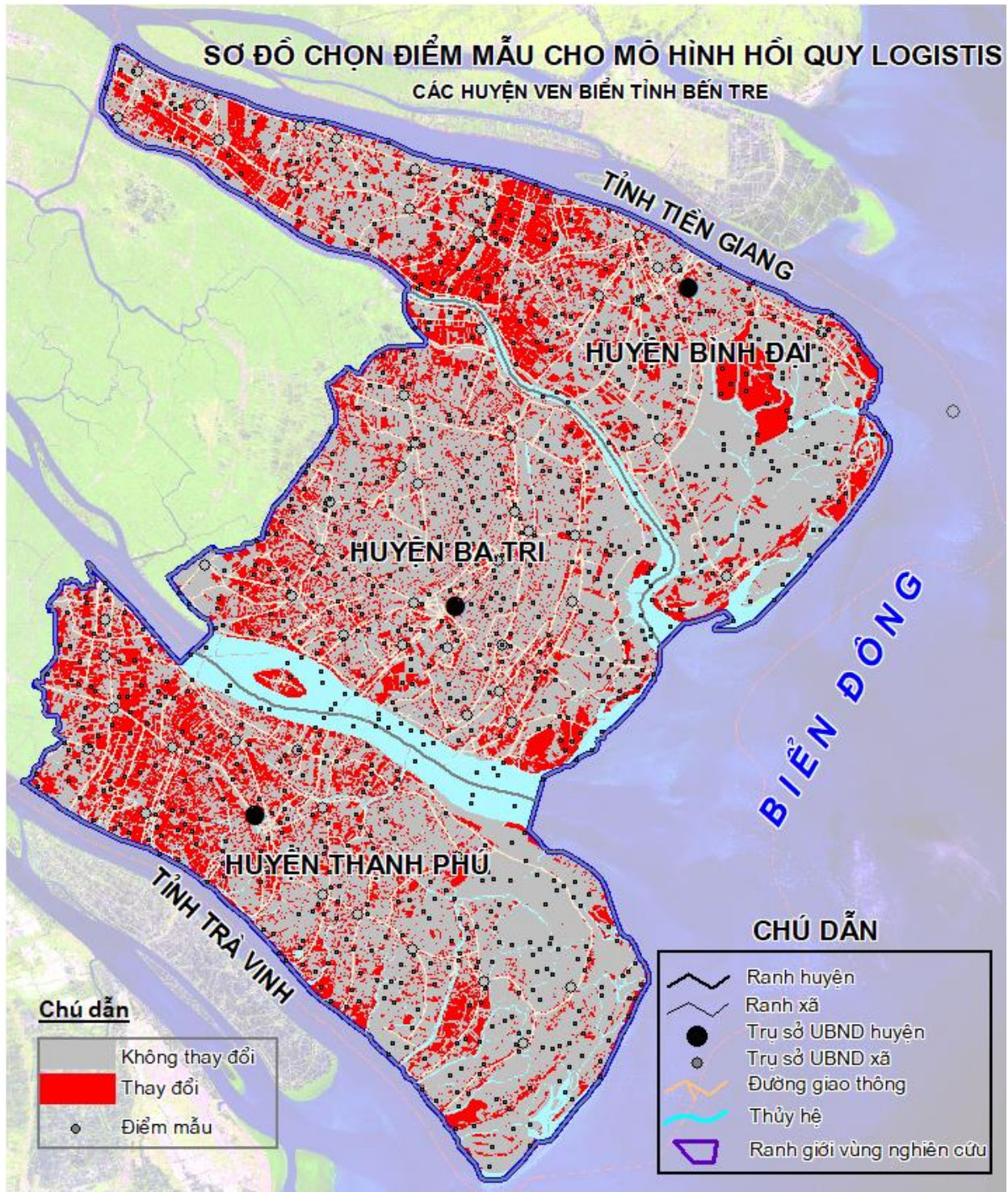
Biến độc lập	Đơn vị tính	Giá trị phân cấp				
		1	2	3	4	5
Nhiệt độ trung bình năm	$^{\circ}C$	27,2-27,3	27,3-27,4	27,4-27,5	27,5-27,6	27,6-27,7
Lượng mưa trung bình tháng	<i>mm</i>	180-187	187-194	194-201		
Mức độ ngập lụt	<i>cm</i>	0	0,01-20	20-40	40-60	60-80
Hạn hán	<i>TVDI</i>	0,0-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0	
Độ mặn đất (EC)	<i>dS/m</i>	0-4	4-8	8-12	>12	

Việc phân cấp nhiệt độ trung bình, lượng mưa trung bình và mức độ ngập được xác định dựa vào số liệu thống kê và quan trắc của một số trạm khí tượng từ năm 1980 đến 2019 trong kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre thể hiện trong Bảng 3.10. Mức độ khô hạn được đánh giá thông qua chỉ số TVDI. Chỉ số TVDI nhận giá trị trong khoảng từ 0 đến 1. Phân cấp mức độ khô hạn bề mặt đối với chỉ số khô hạn nhiệt độ – thực vật TVDI. Trong đó, giá trị

TVDI nhỏ hơn 0,2 tương ứng với các vùng không có nguy cơ hạn hán (bề mặt nước, thực vật tươi tốt, đất nông nghiệp ngập nước). Nếu chỉ số TVDI trong khoảng từ 0,2 đến 0,4 tương ứng với các khu vực ít có nguy cơ khô hạn (khu vực đất rừng và cây lâu năm như dừa, cây ăn quả); chỉ số TVDI trong khoảng 0,4 – 0,6 tương ứng với các khu vực khô hạn trung bình; trong khoảng 0,6 – 0,8 – khô hạn nặng. Nếu giá trị chỉ số TVDI lớn hơn 0,8 khu vực có mức độ khô hạn rất nặng (Trịnh Lê Hùng, 2014). Đánh giá mức độ mặn của đất thông qua chỉ số EC: Giá trị EC(dS/m) từ 0-4: Không mặn; Từ 4-8: Mặn nhẹ; Từ 8-12: Mặn trung bình và EC > 12 Mặn nặng.

### **3.3.2. Chọn mẫu giá trị các biến độc lập**

Giá trị các biến được xác định theo các mẫu. Bằng công cụ lấy mẫu trong phần mềm Arc GIS đã lựa chọn ngẫu nhiên 1.000 điểm mẫu, mỗi điểm tương ứng một pixel số liệu. Các pixels lần lượt được cập nhật các giá trị về thay đổi sử dụng đất (giá trị 1 là thay đổi và không thay đổi mang giá trị 0); nhiệt độ trung bình mang các giá trị từ 27,2 đến 27,7; lượng mưa trung bình mang giá trị từ 180 đến 201; mức độ ngập lụt mang giá trị từ 0 đến 80; hạn hán mang giá trị từ 0 đến 1 và xâm nhập mặn có giá trị từ 0 đến 16.



**Hình 3.16. Sơ đồ chọn mẫu các biến độc lập**

**Hình 3.16** thể hiện sơ đồ các điểm mẫu. Bản đồ điểm mẫu sau đó được chồng ghép lên bản đồ sử dụng đất (Land use) với 7 loại hình sử dụng đất tương ứng. Các pixels sau đó sẽ được cập nhật giá trị loại hình sử dụng đất tương ứng. Sau khi được cập nhật các giá trị

trên, 1.000 điểm mẫu sẽ được thống kê phân tích bằng phần mềm SPSS. Ở đây dữ liệu sẽ được kiểm tra và hiệu chỉnh.

Trong 1.000 điểm mẫu được chọn có 388 điểm mẫu biến động và 612 điểm mẫu không biến động. Trong 388 điểm mẫu biến động có 93 mẫu đất lúa, 81 mẫu đất trồng cây lâu năm, 43 mẫu đất nuôi trồng thủy sản, 155 mẫu đất dân cư xây dựng, 2 mẫu đất rừng, 1 mẫu đất làm muối và 13 mẫu là thủy hệ và mặt nước chuyển sang các loại đất khác. Trong 612 mẫu đất không biến động bao gồm 74 mẫu đất lúa, 165 mẫu đất cây lâu năm, 55 mẫu đất nuôi trồng thủy sản, 298 mẫu đất dân cư – xây dựng, 2 mẫu đất rừng, 1 mẫu đất làm muối và 17 mẫu thủy hệ và mặt nước. Lần lượt xác định giá trị độ mặn, hạn hán, lượng mưa trung bình, nhiệt độ trung bình và mức độ ngập tại các điểm mẫu để xác định mối tương quan với thay đổi sử dụng đất.

### **3.3.3. Nhiệt độ trung bình**

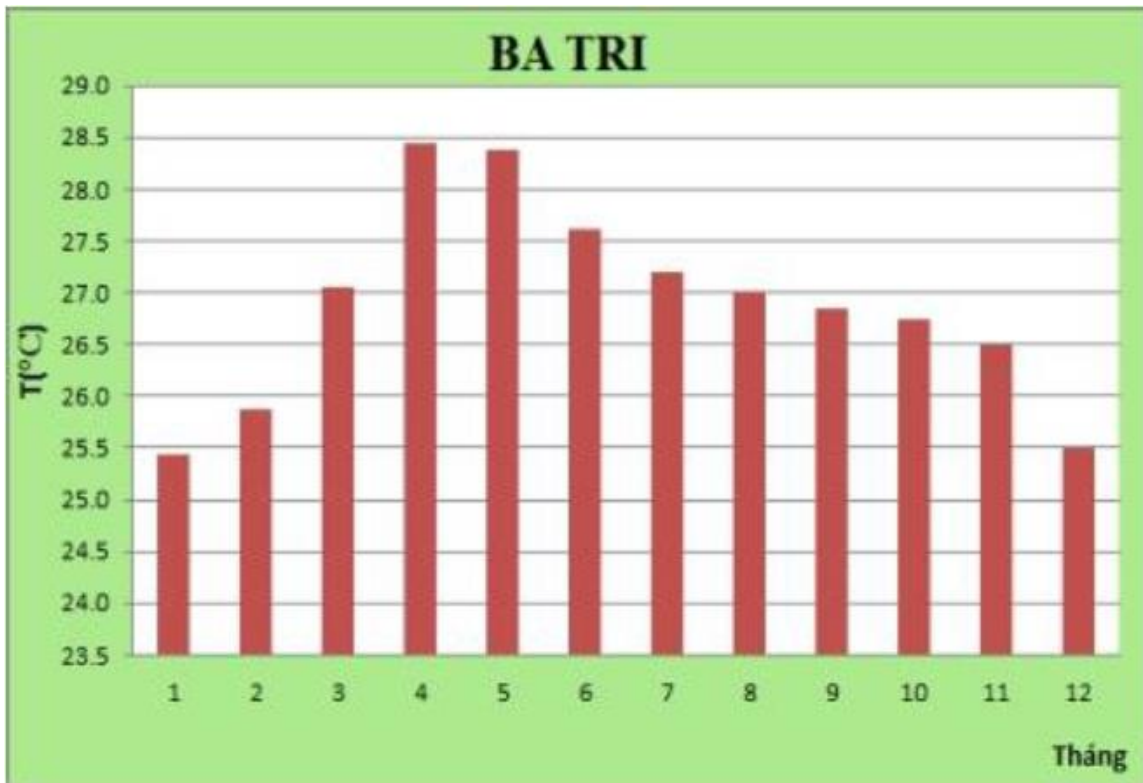
Nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa cận xích đạo nên nền khí hậu ở Bến Tre quanh năm nắng ấm và sự phân mùa khô-ẩm rất sâu sắc tùy theo hoạt động của hoàn lưu gió mùa. Mùa khô thường trùng với mùa ít mưa, đây cũng là thời kỳ khống chế của gió mùa Đông-Bắc kéo dài khoảng từ tháng XI đến tháng IV năm sau, có khí hậu đặc trưng là khô, nóng và rất ít mưa.

Khí hậu ở Bến Tre có sắc thái riêng, đó là khí hậu nhiệt đới ẩm, gió mùa cận xích đạo, nắng nhiều, nhiệt độ cao quanh năm, mùa mưa về cơ bản là mùa hè, mùa khô xuất hiện vào các tháng giữa và cuối mùa đông, đầu mùa hè. Sự tương phản về mưa giữa mùa mưa và mùa khô rất sâu sắc. Sử dụng tài liệu quan trắc của một số trạm đo đại diện có số liệu đến năm 2019 để phân tích đặt điểm nhiệt độ tỉnh Bến Tre.

Tổng số giờ nắng trong năm là 2.046 giờ. Trong mùa khô, nắng trung bình khoảng 8 - 9 giờ/ngày với tổng số giờ nắng bình quân 240 - 260 giờ/tháng. Mùa mưa nắng ít hơn, bình quân 5,5 – 6,5 giờ/ngày tương đương với 170 - 190 giờ/tháng. Nhiệt độ bình quân trong năm không có sự biến động cao, nhiệt độ bình quân giữa tháng nóng nhất và tháng ít nóng nhất chênh nhau khoảng 3 - 4<sup>0</sup>C. Nhiệt độ trung bình cả năm là 27,02<sup>0</sup>C (năm 2005).

Thời kỳ xảy ra nhiệt độ cao nhất trong năm là tháng 4 - 5. Nhiệt độ tối cao trung bình cũng có sự hơi khác ở vùng ven biển và vùng xa bên trên (huyện Ba Tri và Tp.Bến Tre) là ở vùng ven biển nhiệt độ dưới 30<sup>0</sup>C trong các tháng từ tháng 11 năm trước đến tháng 2 năm sau, các tháng 3 - 5 nền nhiệt độ thấp hơn 33<sup>0</sup>C. Thời kỳ ít nóng nhất trong năm là từ tháng

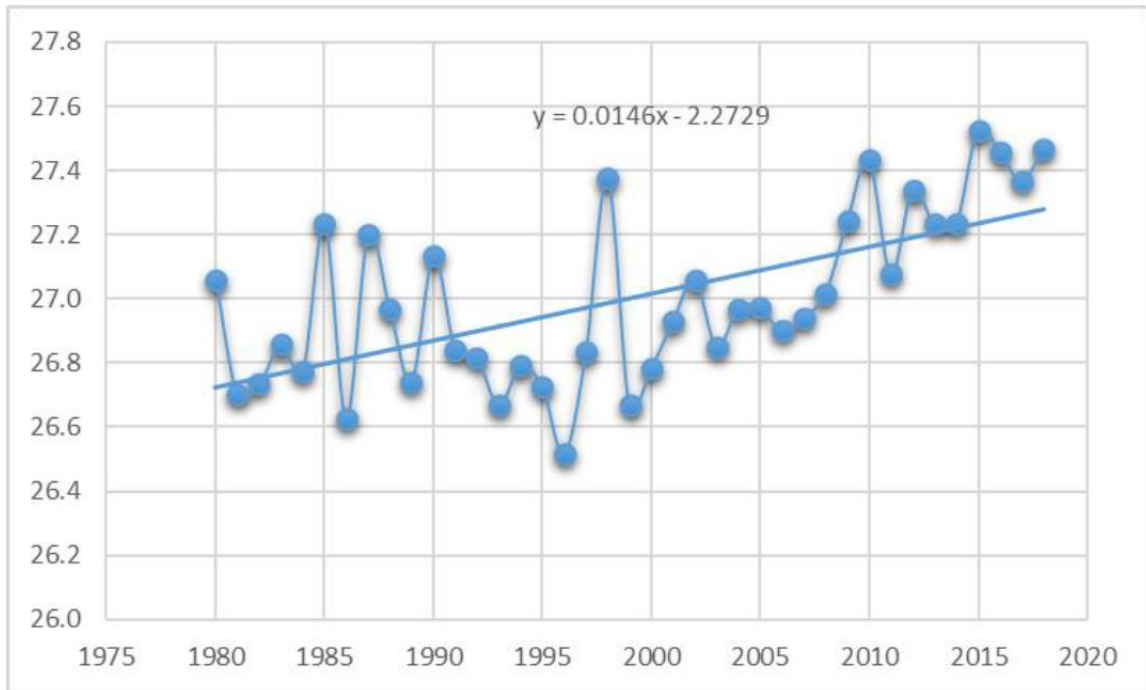
12 năm trước đến tháng 2 năm sau, nhiệt độ trung bình tháng dao động từ 24,70 – 27,02°C. Ở vùng ven biển do chịu ảnh hưởng của sự điều hòa khí hậu của vùng biển nên nền nhiệt độ tối thấp nhất trung bình từ 23°C trở lên còn ở vùng xa bên trên thì nhiệt độ tối thấp nhất trong năm là vào tháng 12 và tháng 1. Đôi khi do sự hoạt động mạnh của áp cao lục địa cực đới nên những đợt không khí lạnh bổ sung mạnh về phía Nam trong tháng 3 cũng xảy ra nhiệt độ thấp nhất.



**Hình 3.17. Nhiệt độ trung bình năm trạm Ba Tri**

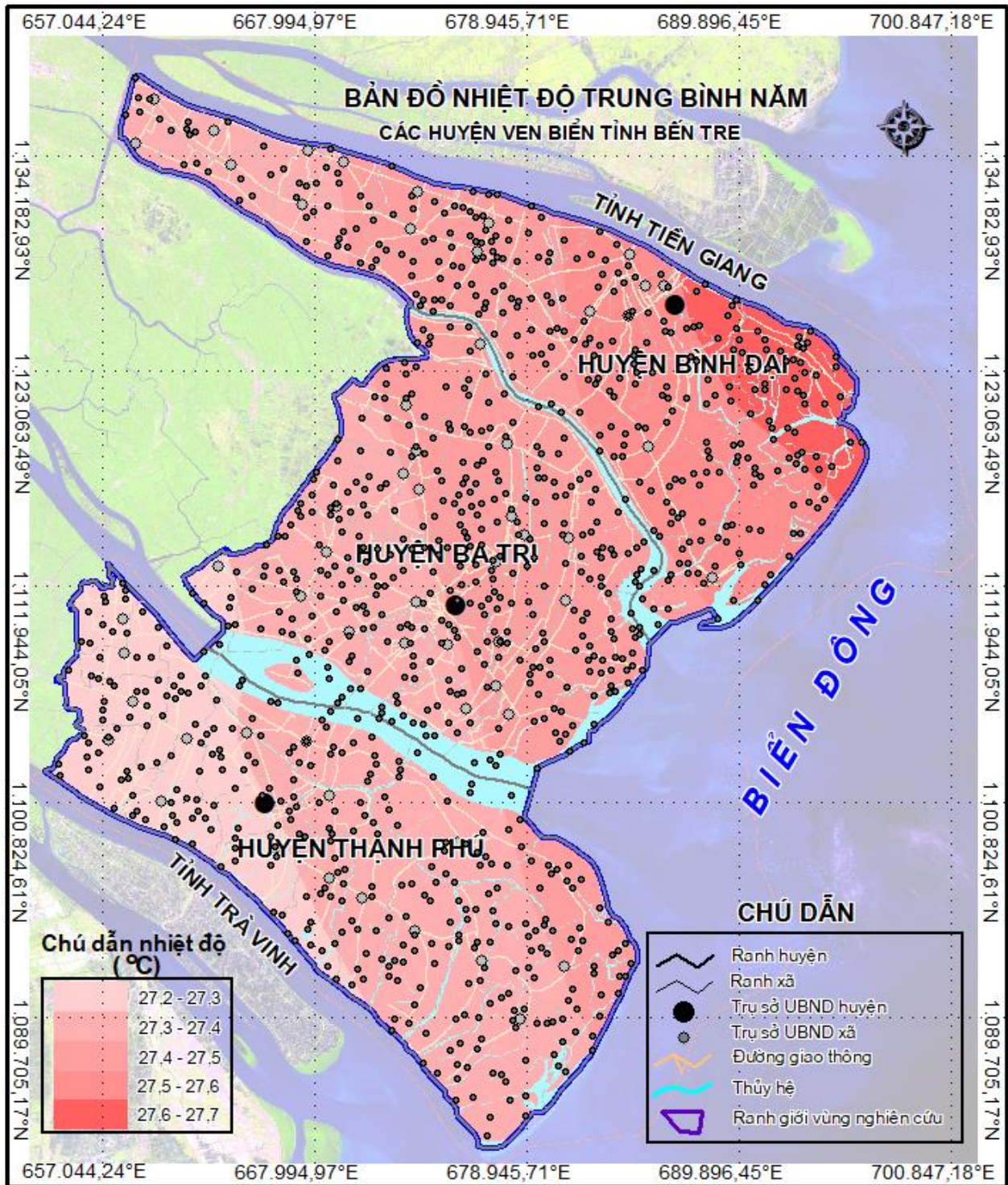
Nhiệt độ trung bình năm tính Bến Tre giai đoạn 1980-2020 khoảng 26,9°C; tháng có nhiệt độ trung bình cao nhất là tháng 4 với nhiệt độ 28,6°C, tháng có nhiệt độ trung bình nhỏ nhất là tháng 1 với nhiệt độ 25,1°C thể hiện ở **Hình 3.17**.





**Hình 3.18. Xu thế biến đổi nhiệt độ trạm Ba Tri**

**Hình 3.18** thể hiện xu thế biến đổi của nhiệt độ trung bình tại Ba Tri từ 1980-2020, kết quả cho thấy trong trong đoạn này nhiệt độ trung bình có xu thế tăng khoảng  $0,014^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ . Trong giai đoạn 2006-2020 nhiệt độ trung bình năm chủ yếu có xu thế tăng và tốc độ tăng nhanh hơn so với giai đoạn từ 1980-2005. Nhiệt độ trung bình năm cao nhất là  $27,5^{\circ}\text{C}$  (năm 2015), thấp nhất là  $26,5^{\circ}\text{C}$  (năm 1996).



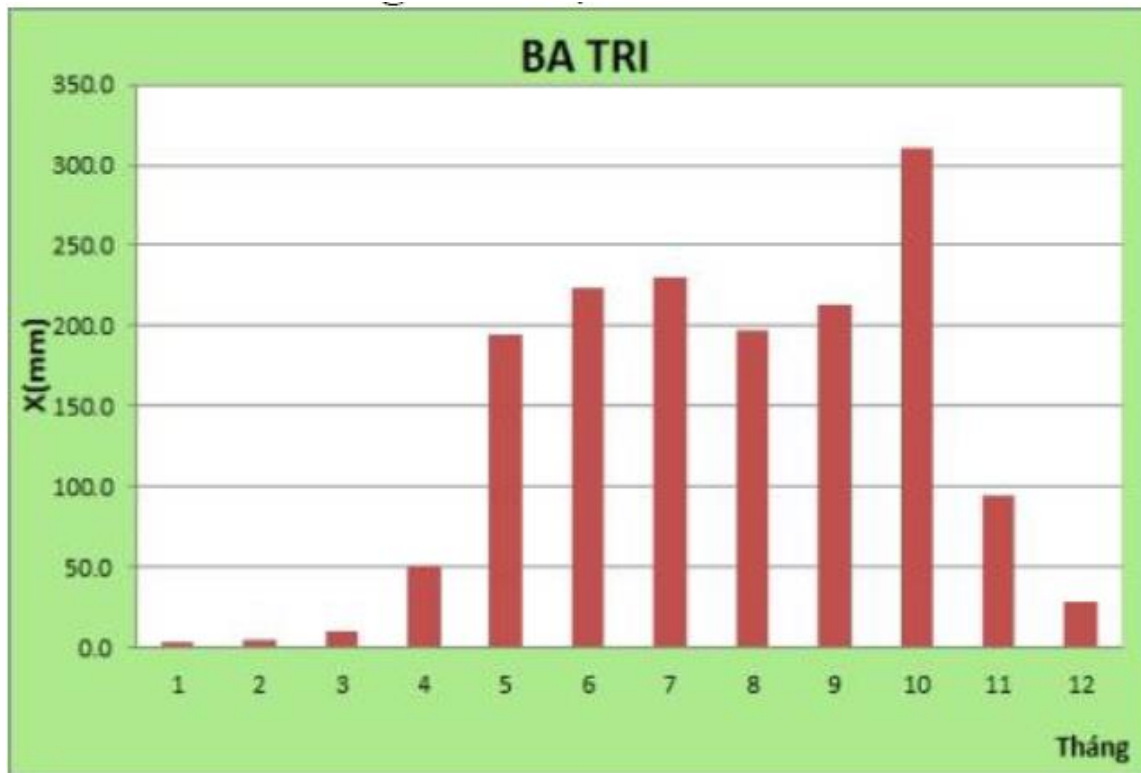
**Hình 3.19. Nhiệt độ trung bình năm**

**Hình 3.19** thể hiện nhiệt độ trung bình vùng nghiên cứu từ 27,2<sup>0</sup>C đến 27,7<sup>0</sup>C và có xu hướng giảm dần từ biển đông vào đất liền theo hướng từ huyện Bình Đại sang huyện Thanh Phú.

### 3.3.4. Lượng mưa trung bình

Sử dụng tài liệu quan trắc của một số trạm đo mưa đại diện có số liệu đầy đủ từ năm 1980 – 2019. Mùa mưa trong tỉnh chịu sự chi phối chung của hoàn lưu gió mùa ở khu vực gió mùa châu Á. Mùa mưa chính thức bắt đầu vào trung tuần tháng 5 và chấm dứt vào tháng 11. Giai đoạn có mưa chuyển mùa thường từ giữa tháng 4 đến đầu tháng 5, đôi khi giai đoạn này không rõ rệt mà chỉ có vài trận mưa rào báo hiệu chính thức bước vào mùa mưa.

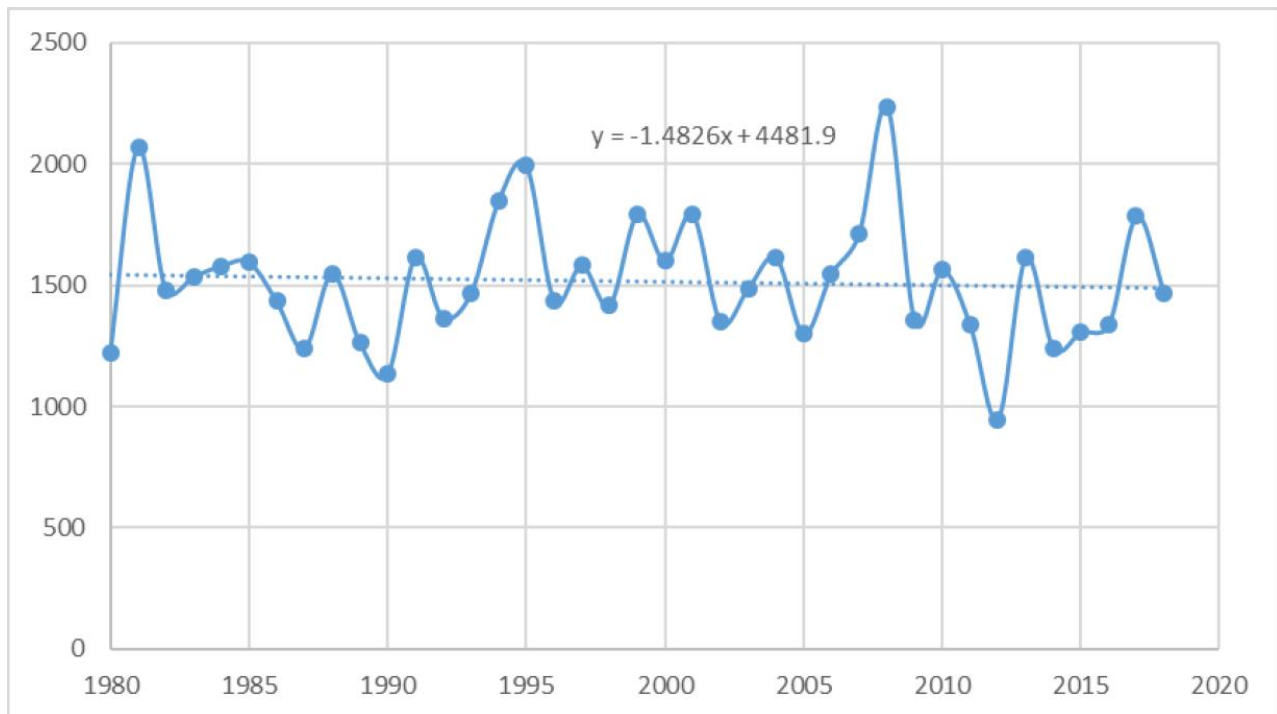
Lượng mưa trung bình thấp, từ 1.200 – 1.500 mm. Lượng mưa cả năm (2005) là 1.695,5 mm, phân bố không đều trong năm. Trong đó, lượng mưa trong mùa mưa chiếm khoảng 90 – 95% lượng mưa của cả năm. Lượng mưa tập trung lớn nhất trong năm chủ yếu ở các tháng 7 (299,2 mm), tháng 8 (216 mm), tháng 9 (209.4 mm) và tháng 10 có lượng mưa lớn nhất trong năm (366.2 mm), ở những tháng này lượng mưa chiếm 90 – 95% lượng mưa cả năm. Lượng mưa phổ biến là mưa rào kèm theo các cơn giông nhỏ. Trường hợp có mưa giông lớn thường xảy ra trong mùa có gió Tây Nam.



**Hình 3.20. Lượng mưa trung bình tháng tại Trạm Ba Tri**

Lượng mưa biến đổi mạnh theo mùa: mùa mưa từ tháng V đến tháng X. Mùa mưa có khi đến sớm hoặc kết thúc muộn. Lượng mưa trong mùa mưa thường chiếm khoảng 80-90%

lượng mưa năm, lớn nhất vào tháng X. Mùa khô kéo dài 5 tháng; lượng mưa nhỏ nhất thường là tháng I và tháng II thể hiện ở **Hình 3.20**. Lượng mưa trong mùa khô chỉ chiếm 10-20% lượng mưa năm. Nhìn chung, chế độ mưa và lượng mưa trên lưu vực phụ thuộc vào chế độ khí hậu nhiệt đới gió mùa. Mùa mưa tương ứng chủ yếu với gió mùa tây nam, mưa lớn xảy ra khi các nguồn áp thấp nhiệt đới xuất hiện trên lục địa Châu Á, thường bắt đầu vào cuối tháng 4 hoặc đầu tháng 5. Vào mùa khô gió mùa đông bắc lại chiếm ưu thế do sự hiện diện của các trung tâm áp cao từ vùng Siberi-Mông Cổ di chuyển xuống.

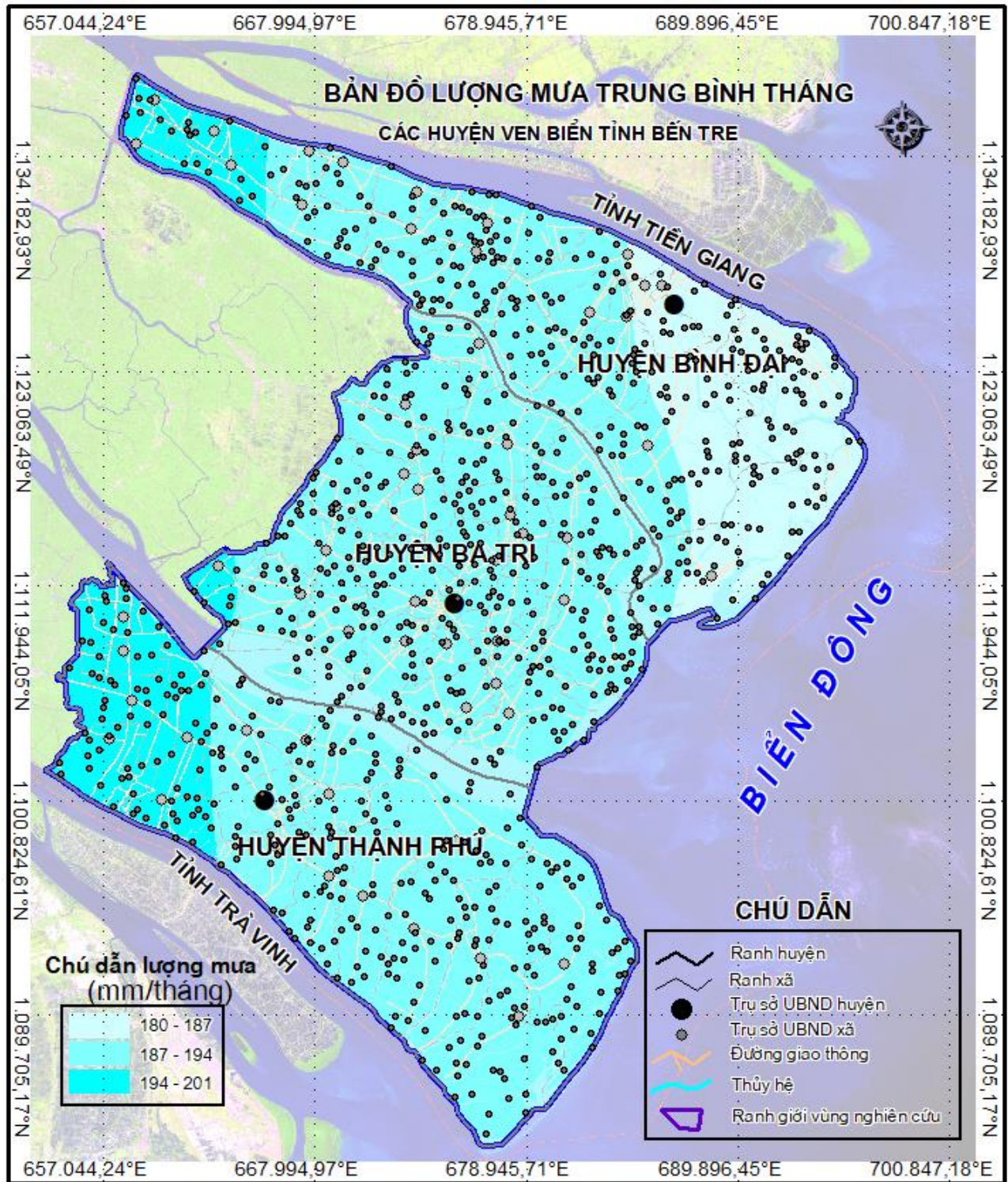


**Hình 3.21. Xu thế biến đổi lượng mưa tại Trạm Ba Tri**

**Hình 3.21** thể hiện xu thế biến đổi lượng mưa tại Ba Tri, kết quả cho thấy lượng mưa tại Ba Tri có xu thế giảm nhẹ, tốc độ khoảng -1,48mm/năm. Lượng mưa năm có sự biến động khá lớn giữa các năm, lượng mưa năm cao nhất là 2.238mm (năm 2008) và thấp nhất là 948mm(năm 2012).

Thời kỳ ít mưa trong mùa mưa: trong mùa mưa thường xảy ra các đợt giảm mưa kéo dài 3 – 5 ngày và có nơi còn kéo dài hơn nữa, đến hơn 10 ngày gây tình hình khô hạn và trùng vào giai đoạn nắng nóng nên gây khó khăn không ít cho sản xuất nông nghiệp, nhất là ở những khu vực nào phụ thuộc nhiều vào nước mưa. Thời kỳ ít mưa này (dân gian còn gọi là hạn Bà Chằn) xảy ra tập trung vào giai đoạn trung tuần tháng 7 và ngay trong tháng 6 sau vài đợt

mưa tập trung lại xảy ra tình hình giảm mưa kéo dài hơn. Những vùng giữa tỉnh là nơi xảy ra nhiều đợt hạn kéo dài nhất, có nơi trên 20 ngày.

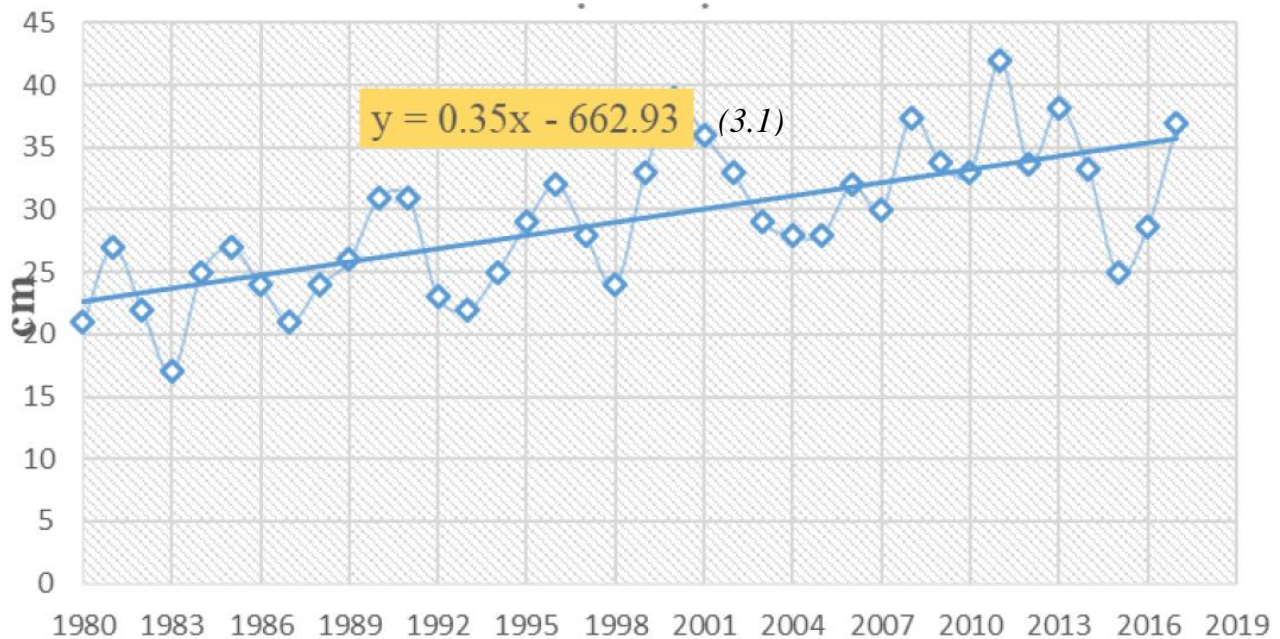


Hình 3.22. Lượng mưa trung bình

Ngược lại với xu thế diễn biến nhiệt độ trung bình, xu thế diễn biến lượng mưa trung bình tháng tăng dần từ Biên đông vào đất liền theo hướng từ huyện Bình Đại đến huyện Thạnh Phú với biên động lượng mưa trung bình từ 180 đến 201mm/tháng (**Hình 3.22**).

### 3.3.5. Mức độ ngập lụt

Tỉnh Bến Tre chịu tác động của hệ thống thủy triều từ biển Đông. Chế độ thủy triều dải ven bờ biển tỉnh Bến Tre là bán nhật triều không đều, mực nước triều cao nhất tại ven bờ biển có xu thế tăng dần từ Bắc xuống Nam. Mực nước khu vực ven biển bắt đầu bước vào thời kỳ triều mạnh từ khoảng tháng VIII. Đối với những năm lũ lớn, đặc biệt với các cơn lũ đầu mùa lên nhanh, ảnh hưởng của nước lũ từ thượng nguồn kết hợp với triều cường gây nên ngập lụt nghiêm trọng cho vùng hạ lưu. Tính từ biển Đông thủy triều truyền vào hạ lưu châu thổ qua các sông lớn như: sông Tiền, sông Hậu hoặc các sông nhỏ như: Gành Hào, Bò Đề... với độ lớn thủy triều trung bình vào khoảng 3-4m trong kỳ nước cường và độ lớn thủy triều cực đại trong chu kỳ 19 năm theo tính toán thực đo khoảng  $4,1 \pm 0,1\text{m}$  mang đặc tính bán nhật triều không đều dọc bờ biển từ diễn biến thủy triều không đồng nhất: xu thế chung là từ bắc xuống nam biên độ triều tăng lên và thời gian xuất hiện chân đỉnh triều chậm dần. Vì vậy triều truyền vào các cửa sông trong vùng bị lệch pha.

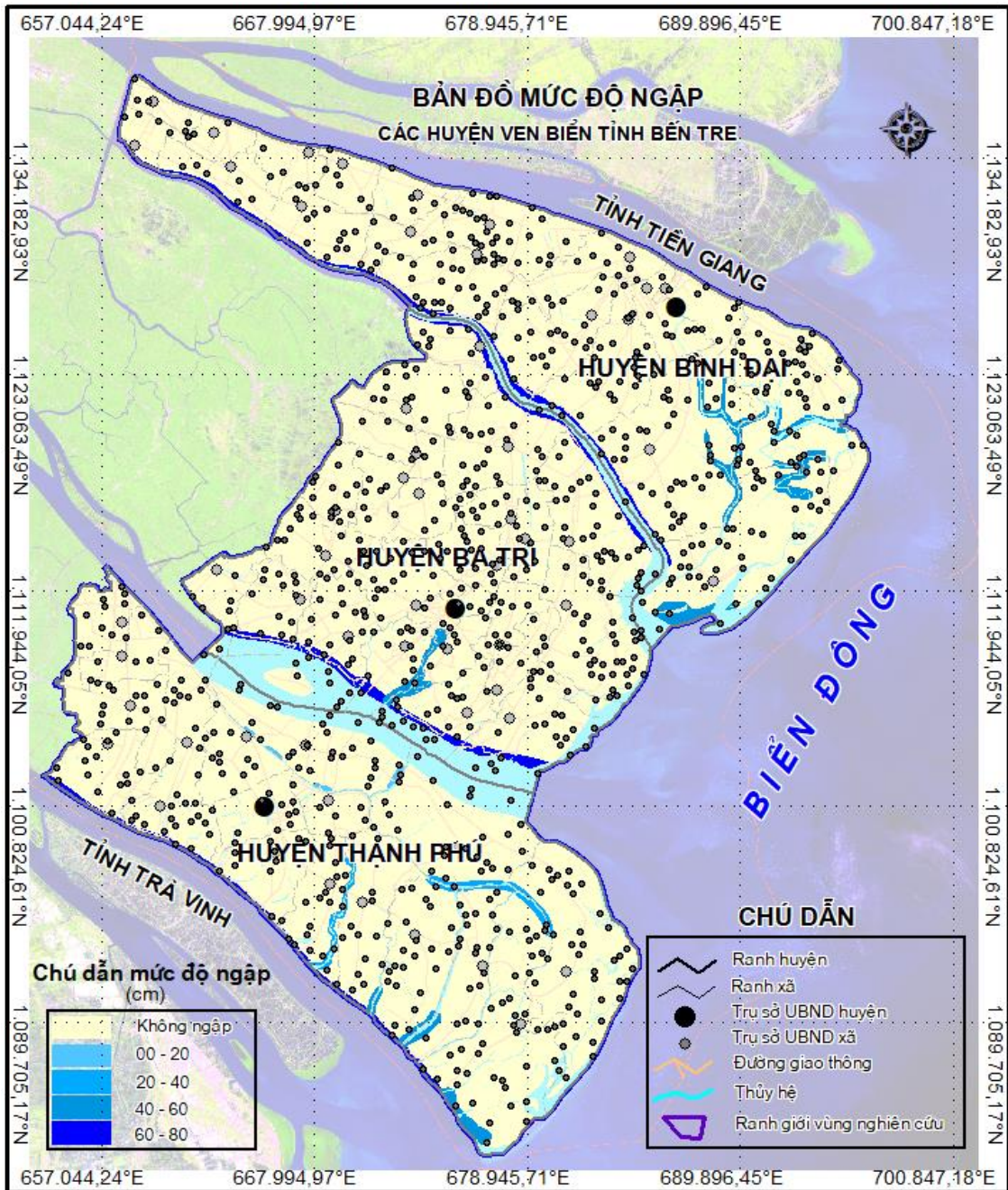


**Hình 3.23. Xu thế biến đổi mực nước trung bình**

**Hình 3.23** thể hiện xu thế biến đổi của mực nước trung bình, kết quả cho thấy Htb có xu thế tăng khá rõ rệt tốc độ tăng khoảng 0,35 cm/năm, mực nước trung bình cao nhất là 42cm xuất hiện vào năm 2011 và thấp nhất là 17cm xuất hiện vào năm 1983.

Kết quả từ tính toán thủy lực bao gồm mực nước và lưu lượng được truy nhập vào GIS thông theo các điểm trên các nhánh sông với khoảng cách 1000 mét theo không gian. Theo thời gian, cách 1 giờ là số liệu ở các điểm này lại thay đổi.

Kết quả nội ngoại suy khu vực ngập lụt là các lớp bản đồ ngập dạng raster, mỗi ô phân giải có giá trị là giá trị độ sâu mực nước tại 1 thời điểm.



**Hình 3.24. Bản đồ mức độ ngập lụt**

Thời gian chọn để tính toán là tháng 10 và 11 là 2 tháng điển hình trong mùa mưa và có mực nước tại các trạm thủy văn cao nhất trong năm. Quá trình tính toán đã mô phỏng theo không gian là khu vực nằm trong phạm vi ranh giới hành chính tỉnh Bến Tre, theo thời gian là từ 0:00 ngày 1/10/2018 đến 23:00 ngày 30/11/2018, mỗi một giờ có 1 lớp độ sâu mực nước.



Trong thời gian tính toán mực nước cao nhất được chọn lọc để tạo ra bản đồ có độ sâu ngập nhiều nhất (Kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre năm 2020).

**Hình 3.24** thể hiện mức độ ngập vùng nghiên cứu được phân thành 5 cấp như trên, trong đó phần lớn diện tích vùng nghiên cứu là không bị ngập. Mức độ ngập dao động từ 0 đến 80cm phân bố chủ yếu ven các sông chính.

### 3.3.6. Xâm nhập mặn

Hiện nay, để đánh giá độ mặn của đất, trên thế giới người ta dùng đại lượng EC (Electrical Conductivity) là độ dẫn điện của đất. Đơn vị đo lường của độ dẫn điện EC là Siemen, ký hiệu là S. Trước kia, đơn vị này ký hiệu là mho. Trong thực tế, thường dùng đơn vị nhỏ hơn S một nghìn lần, tức là miliSiemen/cm ký hiệu là mS/cm hay deSiemen/m ký hiệu là dS/m.

+ Đơn vị  $dS/m = mS/cm = mho/cm$

+ Quy đổi theo nồng độ muối tan:  $1dS/m = 0,64‰$

Đất mặn là những loại đất có độ dẫn điện  $>4 dS/m$  ở  $25^{\circ}C$  tương đương với nồng độ muối hòa tan khoảng  $2,56 ‰$  theo cách tính thông thường tại Việt Nam.

Để đánh giá diễn biến xâm nhập mặn giai đoạn 2009 - 2019, nghiên cứu sử dụng phương pháp viễn thám bằng cách ứng dụng ảnh vệ tinh Landsat 8 và dữ liệu điều tra thực địa để xác định độ dẫn điện của đất (Electrical Conductivity - EC) nhằm đánh giá nhiễm mặn trong đất thông qua sự phân bố của EC. Để thành lập bản đồ phân bố giá trị EC, nghiên cứu tiến hành phân tích thiết lập sự tương quan giữa giá trị phản xạ của các kênh phổ với ảnh vệ tinh Landsat 8 và các chỉ số độ mặn với EC từ đó lựa chọn mô hình phù hợp để tiến hành thành lập bản đồ độ mặn của đất theo 4 cấp độ tương ứng với giá trị EC:

**Bảng 3.9. Phân cấp độ mặn trong đất theo EC (dS/m)**

<b>Đánh giá</b>	<b>EC bão hòa</b>	<b>EC (1:5)</b>
Không mặn	0 - 4	0 - 0,6
Mặn nhẹ	4 - 8	0,6 - 1,2
Mặn vừa	8 - 16	1,2 - 2,3
Mặn nặng	Trên 16	trên 2,3

**Bảng 3.9** phân cấp độ mặn trong đất theo chỉ số EC. Theo đó đất không nhiễm mặn có giá trị EC từ 0 đến 4; đất nhiễm mặn nhẹ có giá trị EC từ 4 đến 8; đất mặn vừa có giá trị EC từ 8 đến 16; đất nhiễm mặn nặng có giá trị EC >16.

### Xử lý ảnh

Ảnh Landsat 7 và Landsat 8 OLI được sử dụng để thành lập bản đồ độ mặn tại hai thời điểm, nhằm đánh giá ảnh hưởng xâm nhập mặn giai đoạn 2009 – 2019. Ảnh thu được với địa chỉ path/row tương ứng là 125/53, độ phủ mây <10, loại ảnh Landsat Collection 1 Level 1. Ảnh đã được tham chiếu theo hệ tọa độ toàn cầu UTM Elipsoic tham chiếu WGS 84 Zone 48N. Tiến hành chuyển đổi giá trị số nguyên thành giá trị thực của bức xạ điện từ thu nhận được bởi bộ cảm biến (Sensor) theo công thức sau:

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_p * Q_{cal} + A_p}{\sin(\theta_{se})} \quad (3.2)$$

Trong đó:

$M_p$ : (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x): Từ file Metadata của ảnh

$A_p$ : (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x): Từ file Metadata của ảnh

$Q_{cal}$  : Là giá trị pixel (Digital Number - DN) của kênh phổ

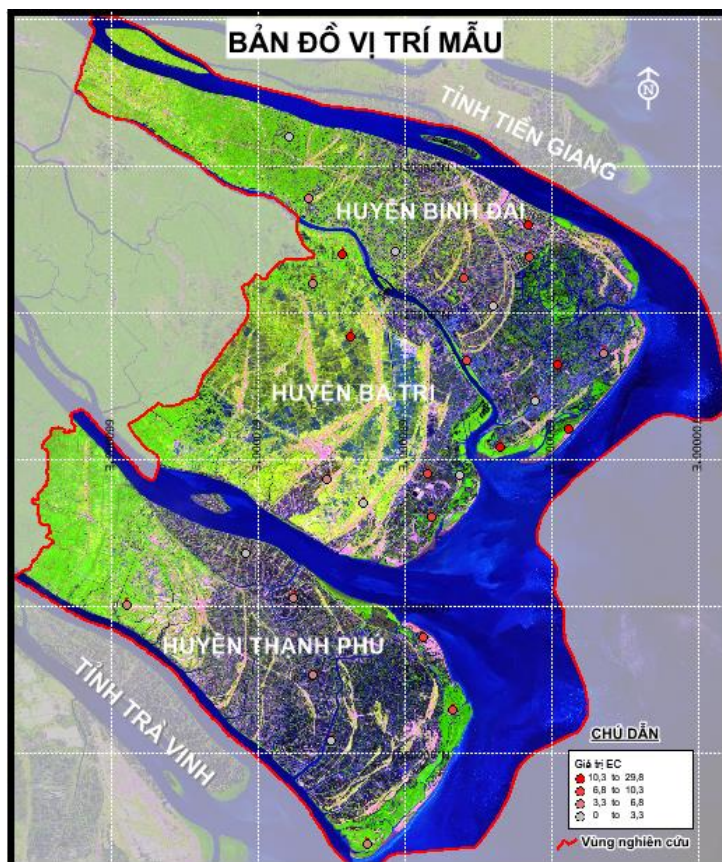
$\theta_{SE}$ : SUN\_ELEVATION: Góc thiên đỉnh của vệ tinh lấy từ file Metadata

Hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển đến giá trị phản xạ: Bức xạ điện từ thu nhận được bởi bộ cảm biến chịu ảnh hưởng của khí quyển. Mục đích của việc hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển là làm giảm ảnh hưởng của sự hấp thụ, tán xạ gây ra bởi các thành phần có trong khí quyển đến giá trị phản xạ bề mặt.

### Chọn điểm mẫu

Các điểm mẫu được xác định trên bản đồ theo hệ tọa độ toàn cầu UTM elipsoic tham chiếu WGS 84. Từ vị trí các điểm mẫu được xác định trên bản đồ sẽ xuất ra tọa độ từng điểm mẫu (X,Y) sử dụng GPS để khảo sát thực địa. Dữ liệu khảo sát sau đó được xử lý phân tích mẫu để xác định chỉ số EC cho các điểm mẫu. Các chỉ số độ mặn SAVI, NDSI, VSSI, SI1, SI2, SI3, SI4, SI5 và kênh cận hồng ngoại NIR (kênh 4 đối với ảnh Landsat 5, kênh 5 đối với

ảnh Landsat 8 OLI) sẽ được tính toán dựa vào giá trị phản xạ (Reflectance value) các kênh 2,3,4,5 của ảnh Landsat 8 OLI. Lần lượt phân tích tương quan các chỉ số độ mặn trên với chỉ số EC bằng phần mềm SPSS 20.

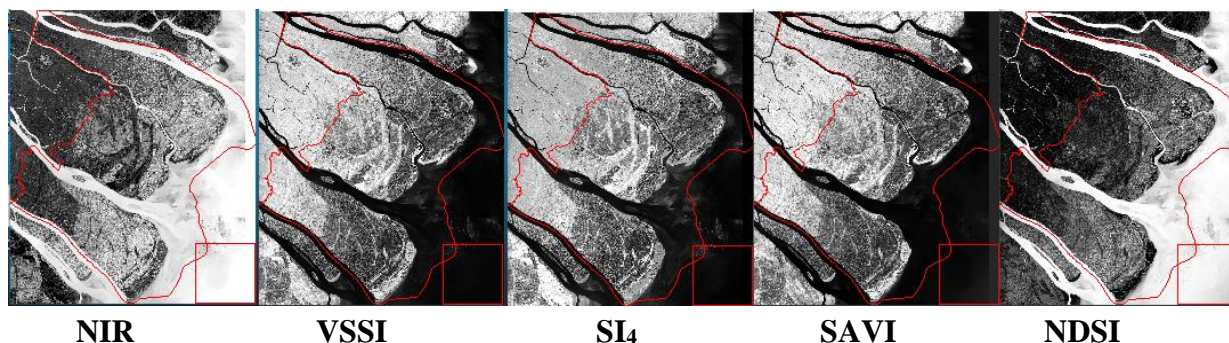


**Hình 3.25. Sơ đồ phân bố điểm mẫu**

Các giá trị của pixel trên ảnh Landsat 5 và Landsat 8 OLI được tách riêng để xác định sự tương quan với giá trị độ mặn tại vị trí tương ứng 28 mẫu ngoài thực địa (Hình 3.25). Kết quả nghiên cứu đặc trưng phổ của ảnh Landsat với các thành phần muối ứng với các dải bước sóng khác nhau cho thấy, các loại muối sodium sulfate, halite, gypsum, calcium carbonate, sodium bicarbonate đều phản xạ mạnh (hơn 80%) trong dải bước sóng từ 0,4 đến 1,4  $\mu\text{m}$  (từ kênh khả kiến đến cận hồng ngoại) (Trung, 2019). Đây là cơ sở khoa học để sử dụng các kênh khả kiến (kênh 2, 3, 4) và kênh cận hồng ngoại (kênh 5) của ảnh Landsat 8 và kênh 4 của Landsat 5 để phát triển mô hình giám sát độ mặn trong đất.

### **Tính chỉ số độ mặn**

Các chỉ số độ mặn được chọn trong nghiên cứu bao gồm: NDSI, SAVI, VSSI, SI1, SI2, SI3, SI4, SI5. Các chỉ số lần lượt được tính toán để tạo các ảnh tương ứng trong phần mềm ENVI (Hình 3.26). Sử dụng phần mềm SPSS tiến hành phân tích tương quan để chọn ra các chỉ số có hệ số tương quan với EC là cao nhất.



**Hình 3.26. Ảnh các chỉ số độ mặn**

Các chỉ số độ mặn có tương quan  $R^2$  hiệu chỉnh  $< 0.50$  sẽ bị loại. Phương trình hồi quy sẽ được xây dựng để tính toán giá trị và lập bản đồ EC cho vùng nghiên cứu. Các phần mềm có liên quan được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: ENVI 5.2 để xử lý ảnh vệ tinh, SPSS 20 để phân tích hồi quy, Mapinfo 12.0 sử dụng trong chọn điểm mẫu và lập bản đồ có liên quan, Excel để xử lý số liệu điều tra thực địa.

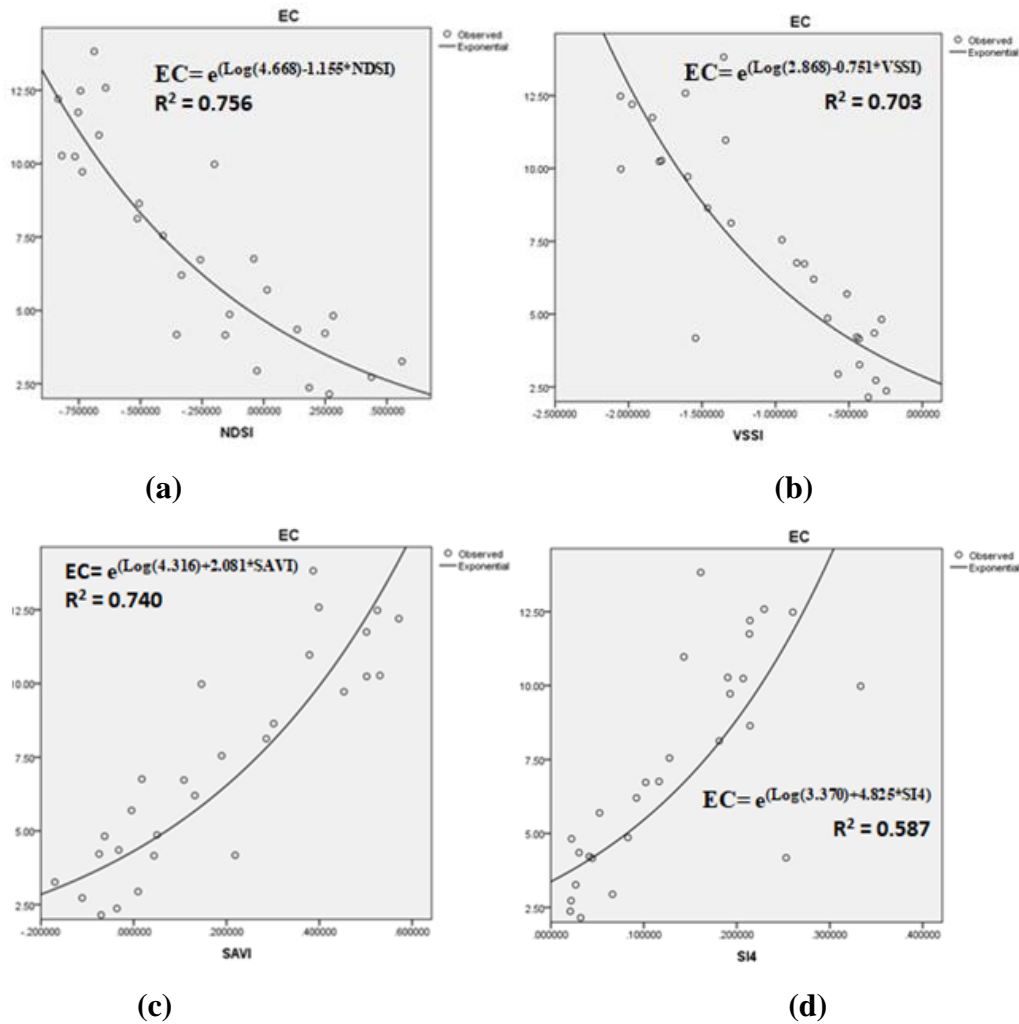
### **Tính tương quan giữa các chỉ số độ mặn với giá trị EC**

Để xây dựng hàm hồi quy trước tiên tiến hành khảo sát tương quan giữa giá trị EC với các kênh phổ và các chỉ số độ mặn đất. Lần lượt khảo sát tương quan giá trị EC với giá trị các kênh phổ với kết quả sau:

**Bảng 3.10. Khảo sát tương quan phản xạ phổ với giá trị EC**

<b>STT</b>	<b>Kênh phổ</b>	<b>Mô hình hồi quy</b>	<b>Tương quan (<math>R^2</math>)</b>
1	Blue	$EC = e^{(\log(10.512) - 5.223 * \text{Blue})}$	-0.020
2	Green	$EC = e^{(\log(6.362) - 0.028 * \text{Green})}$	-0.038
3	Red	$EC = e^{(\log(7.340) - 2.127 * \text{Red})}$	-0.024
<b>4</b>	<b>NIR</b>	<b><math>EC = e^{(\log(3.225) + 3.820 * \text{NIR})}</math></b>	<b>0.791</b>

Mô hình hồi quy với biến phụ thuộc là EC và biến độc lập lần lượt là các kênh phổ (kênh 2,3,4,5) tại 28 điểm mẫu cho thấy giá trị tương quan  $R^2$  các kênh Red, Green, và Blue lần lượt là -0.02; -0.038 và -0.024; riêng kênh NIR có  $R^2 = 0.791$  (Bảng 3.10) sẽ được chọn cho mô hình phân tích hồi quy tiếp theo.



Hình 3.27. Đồ thị phân bố điểm mẫu tương ứng với các chỉ số độ mặn:

(a)-NDSI; (b)-VSSI; (c)-SAVI; (d)-SI<sub>4</sub>

Bảng 3.11. Khảo sát tương quan phản xạ phổ với giá trị EC

STT	Kênh phổ	Mô hình hồi quy	Tương quan (R <sup>2</sup> )	Độ lệch chuẩn
1	NDSI	$e^{(\text{Log}(4.668) - 1.155 * \text{NDSI})}$	<b>0.756</b>	<b>1.773</b>
2	SAVI	$e^{(\text{Log}(4.316) + 2.081 * \text{SAVI})}$	<b>0.740</b>	<b>1.637</b>
3	VSSI	$e^{(\text{Log}(2.868) - 0.751 * \text{VSSI})}$	<b>0.703</b>	<b>1.855</b>
4	SI <sub>1</sub>	$e^{(\text{Log}(8.477) - 10.934 * \text{SI}_1)}$	-0.27	3.664
5	SI <sub>2</sub>	$e^{(\text{Log}(8.779) - 19.798 * \text{SI}_2)}$	-0.19	3.629
6	SI <sub>3</sub>	$e^{(\text{Log}(7.456) - 28.179 * \text{SI}_3)}$	-0.037	3.660
7	SI <sub>4</sub>	$e^{(\text{Log}(3.370) + 4.825 * \text{SI}_4)}$	<b>0.587</b>	<b>2.313</b>
8	SI <sub>5</sub>	$e^{(\text{Log}(3.187) + 0.445 * \text{SI}_5)}$	0.103	3.406
9	NIR	$e^{(\text{Log}(3.225) + 3.820 * \text{NIR})}$	<b>0.791</b>	<b>1.643</b>

Kết quả đánh giá mối tương quan giữa giá trị độ mặn EC với giá trị phản xạ của năm kênh phổ và bốn chỉ số độ mặn (Bảng 3.11) cho thấy giá trị phản xạ các kênh phổ Blue (kênh

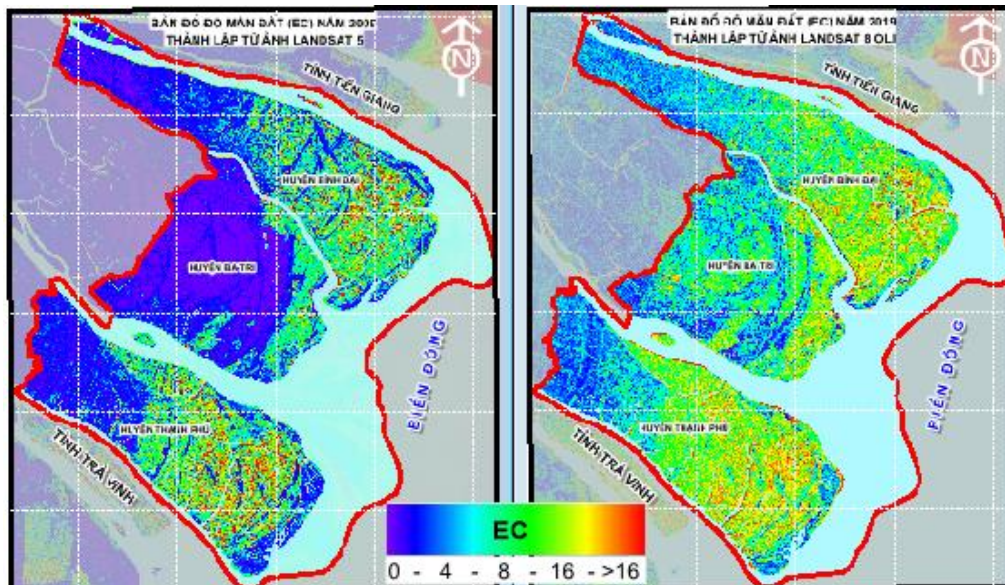
2), Green (kênh 3), Red (kênh 4) không có tương quan với giá trị EC còn lại kênh NIR (kênh 5), chỉ số NDSI, SAVI, VSSI và SI4 đều có tương quan  $R^2$  hiệu chỉnh lớn hơn 0.50. Trong đó chỉ số SAVI có độ lệch chuẩn nhỏ nhất (1.637) tương ứng với độ tương quan  $R^2$  là 0.740. Kênh cận hồng ngoại (NIR) phản xạ mạnh (hơn 80%) trong dải bước sóng từ 0,4 đến 1,4  $\mu\text{m}$  với các loại muối trong đất có độ tương quan  $R^2$  với giá trị độ mặn đất EC là 0.791 và độ lệch chuẩn 1.643 sẽ được chọn cho mô hình hồi quy.

Phương trình hồi quy có dạng:  $\text{Log}_{(EC)} = 3.820 * \text{NIR} + 3.225$

$$EC = e^{(\log(3.225)+3.820*\text{NIR})} \quad (3.4)$$

$$R^2 = 0.791; \text{Std} = 1.643 \quad (3.5)$$

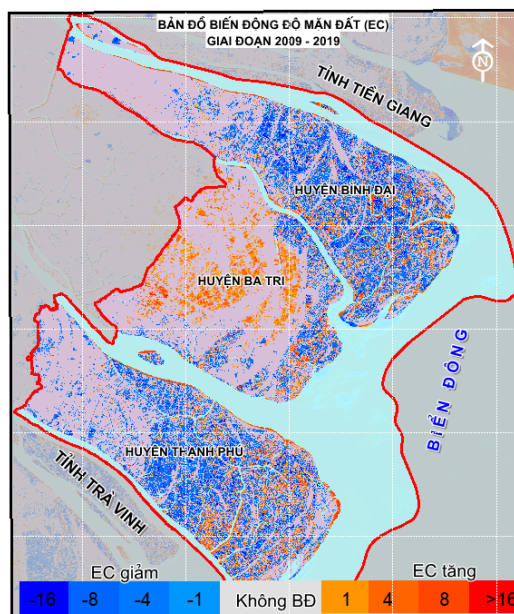
Sử dụng phần mềm ENVI để chạy mô hình hồi quy trên kết quả cho ta ảnh phân bố độ mặn đất EC cho vùng nghiên cứu tại hai thời điểm 2009 và 2019 với 4 cấp độ mặn tương ứng với giá các khoảng giá trị hồi quy của EC gồm: 0 – 4 (không mặn); 4 – 8 (Mặn nhẹ); 8 – 16 (Mặn vừa) và  $EC > 16$  (Mặn nặng).



**Hình 3.28. Bản đồ phân bố độ mặn đất (EC) năm 2009 và năm 2019**

**Hình 3.28** cho thấy phân bố độ mặn trên địa bàn nghiên cứu cho thấy hầu hết huyện Thạnh Phú đều nhiễm mặn với độ mặn EC từ 4 – 16 xâm nhập sâu từ cửa biển vào đất liền khoảng 26 km. Xâm nhập mặn tại huyện Ba Tri theo hai hướng từ biển vào 5 km với độ mặn từ 8 – 16 và hướng sông Ba Lai từ cửa Ba Lai vào 15 km và từ sông Ba Lai vào đất liền 1,5

– 2 km. Huyện Bình Đại xâm nhập mặn theo hướng từ Cửa Đại và Cửa Ba Lai sâu 25 km vào đất liền.



**Hình 3.29. Bản đồ biến động độ mặn đất giai đoạn 2009 - 2019**

Kết quả giải đoán ảnh tại hai thời điểm cho thấy độ mặn năm 2019 nhìn chung tăng so với năm 2009, tuy nhiên vẫn có các vị trí giảm với mức độ giảm trung bình từ 4 đến 8 tại hai huyện Bình Đại và Thanh Phú. Độ mặn tăng tập trung chủ yếu tại cánh đồng lúa thuộc huyện Ba Tri và các xã tiếp giáp biển, phân bố biến động cụ thể được thể hiện ở **Hình 3.29**.

Sử dụng đất, thay đổi sử dụng đất chịu tác động bởi nhiều yếu tố, các yếu tố tác động thay đổi theo từng khu vực địa lý khác nhau. Đối với Đồng bằng sông Cửu Long nói chung và Bến Tre nói riêng xâm nhập mặn là một trong những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng trực tiếp đến thay đổi sử dụng đất.

### 3.3.7. Hạn hán

Bến Tre là tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long chịu ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu và nước biển dâng, như thiếu nước ngọt và gia tăng xâm nhập mặn trong mùa khô. Để đánh giá diễn biến hạn hán giai đoạn 2009 – 2019, nghiên cứu sử dụng phương pháp viễn thám bằng cách sử dụng ảnh viễn thám đa thời gian để đánh giá diễn biến hạn hán. Chỉ số khô hạn theo quan hệ nhiệt độ - thực vật (Temperature Vegetation Dryness Index) được

phân tích dựa trên dữ liệu Landsat 8 OLI đa thời gian được thu thập trong giai đoạn 2009 - 2019 để đánh giá sự thay đổi của hạn hán. Chỉ số khô hạn theo quan hệ nhiệt độ - thực vật được tính theo công thức sau:

$$TVDI = \left( \frac{T_s - T_{min}}{T_{smax} - T_{smin}} \right) = \left( \frac{T_s - T_{min}}{(a + b * NDVI - T_{smin})} \right) \quad (3.6)$$

Trong đó:

Trong đó,  $T_{smin}$  là nhiệt độ bề mặt cực tiểu trong tam giác để xác định rìa ướt,  $T_s$  là nhiệt độ quan sát tại pixel ảnh cần tính,  $T_{smax}$  là nhiệt độ bề mặt cực đại quan sát được cho mỗi khoảng giá trị của NDVI. Tham số  $a$  và  $b$  của đường “rìa khô” cho một ảnh Landsat được xác định bằng hàm hồi quy bình phương tối thiểu của các giá trị cực đại  $T_s$  đối với những khoảng giá trị NDVI có dạng  $T_{smax} = a + b * NDVI$ . (3.7)

Để xác định hệ số  $a, b$  trong hàm hồi quy trên cần chọn điểm mẫu là các điểm có giá trị trung tâm thuộc các khoản chia giá trị của biến độc lập NDVI và giá trị nhiệt độ tương ứng với biến phụ thuộc là nhiệt độ bề mặt (Land Surface Temperature – LST).

Chỉ số TVDI nhận giá trị trong khoảng từ 0 đến 1. Phân cấp mức độ khô hạn bề mặt đối với chỉ số khô hạn nhiệt độ – thực vật TVDI. Trong đó, giá trị TVDI nhỏ hơn 0,2 tương ứng với các vùng không có nguy cơ hạn hán (bề mặt nước, thực vật tươi tốt, đất nông nghiệp ngập nước). Nếu chỉ số TVDI trong khoảng từ 0,2 đến 0,4 tương ứng với các khu vực ít có nguy cơ khô hạn (khu vực đất rừng và cây lâu năm như dừa, cây ăn quả); chỉ số TVDI trong khoảng 0,4 – 0,6 tương ứng với các khu vực khô hạn trung bình; trong khoảng 0,6 – 0,8 – khô hạn nặng. Nếu giá trị chỉ số TVDI lớn hơn 0,8 khu vực có mức độ khô hạn rất nặng.

**Bảng 3.12. Phân cấp chỉ số khô hạn TVDI**

STT	Phân cấp TVDI	Phân cấp mức độ hạn hán
1	0,0 – 0,4	Không hạn
2	0,4 – 0,6	Hạn nhẹ
3	0,6 – 0,8	Hạn trung bình
4	0,8 – 1,0	Hạn nặng

**Nguồn: Trịnh Lê Hùng**



Đề thành lập bản đồ khô hạn theo chỉ số TVDI cần sử dụng các kênh 10 (kênh nhiệt) để tính nhiệt độ bề mặt, kênh 4,5 của ảnh Landsat 8 để tính chỉ số NDVI. Lần lượt các điểm mẫu được chọn để tính hệ số tương quan giữa nhiệt độ bề mặt và chỉ số phát triển thực vật. Các hệ số trong phương trình tương quan sẽ được sử dụng để thành lập bản đồ chỉ số khô hạn TVDI. Từ bản đồ chỉ số TVDI sẽ thành lập bản đồ phân cấp khô hạn. Từ công thức tính chỉ số TVDI (công thức 3.2) cho thấy để tính được giá trị TVDI cần tính được nhiệt độ bề mặt (LST) và chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI).

### **Tính nhiệt độ bề mặt LST**

Dữ liệu Landsat 7 ETM+ và Landsat 8 được thu nhận với dạng ảnh số. Do đó cần phải chuyển đổi giá trị dữ liệu ảnh số sang giá trị bức xạ phổ là giá trị phản ánh năng lượng phát ra từ mỗi vật thể thu nhận trên kênh nhiệt. Việc chuyển đổi được thực hiện bởi công thức sau:

$$L_t = ((L_{\max} - L_{\min}) / (QCAL_{\max} - QCAL_{\min})) * (QCAL - QCAL_{\min}) + L_{\min} \quad (3.8)$$

Trong đó:

QCAL = giá trị bức xạ đã được hiệu chỉnh và tính định lượng ở dạng số nguyên.

Đối với Landsat 7 ETM+:  $QCAL_{\min} = 1$ ,  $QCAL_{\max} = 255$ ;  $L_{\min S}$  và  $L_{\max S}$  là các giá trị bức xạ phổ ở dạng số nguyên 12.650 và 3.200

Đối với Landsat 8 OLI

$QCAL_{\min} = 1$  và  $QCAL_{\max} = 65535$ .

$L_{\min S}$  và  $L_{\max S}$  là các giá trị bức xạ phổ ở dạng số nguyên 22.00180 và 0.10033.

### **Chuyển giá trị bức xạ phổ sang nhiệt độ T**

Ảnh được chuyển đổi từ giá trị bức xạ phổ sang biến vật lý sẽ hữu ích hơn. Đây là nhiệt độ hiệu quả trên vệ tinh (nhiệt độ vật đen) và được chuyển đổi theo công thức vật lý Planck:

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_t + 1) \quad (3.9)$$

Trong đó:

T: Nhiệt độ hiệu quả trên vệ tinh (Đơn vị Kelvin  $^0K$ ).

$K_1$ : Hệ số hiệu chỉnh 1 với Landsat 7 ETM+ là  $666.09 \text{ W/m}^2 \cdot \text{Ster.um}$  và  $774.89 \text{ W/m}^2 \cdot \text{Ster.um}$  với Landsat 8.

$K_2$ : hệ số hiệu chỉnh 2 với Landsat 7 ETM+ là  $1282.7 \text{ K}$  và  $1321.08 \text{ K}$  với Landsat 8.

L: Giá trị bức xạ phổ ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{Ster.um}$ ).

Các thông số  $K_1$  và  $K_2$  của Landsat 7 ETM+ và Landsat 8 được lấy từ file \*MTX.txt khi giải nén tập tin kênh ảnh tải về từ Earthexplorer.usgs.gov.

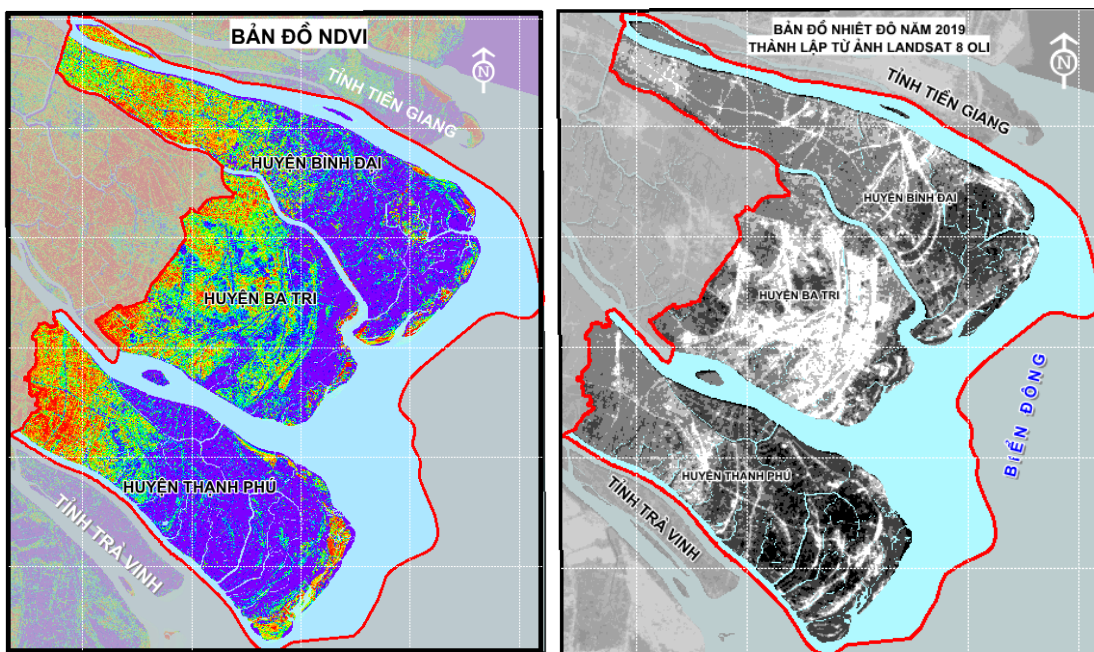
### Chuyển nhiệt độ Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ) về đơn vị độ Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$T (^{\circ}\text{C}) = ^{\circ}\text{K} - 273.16 \quad (3.10)$$

### Tính chỉ số thực vật NDVI

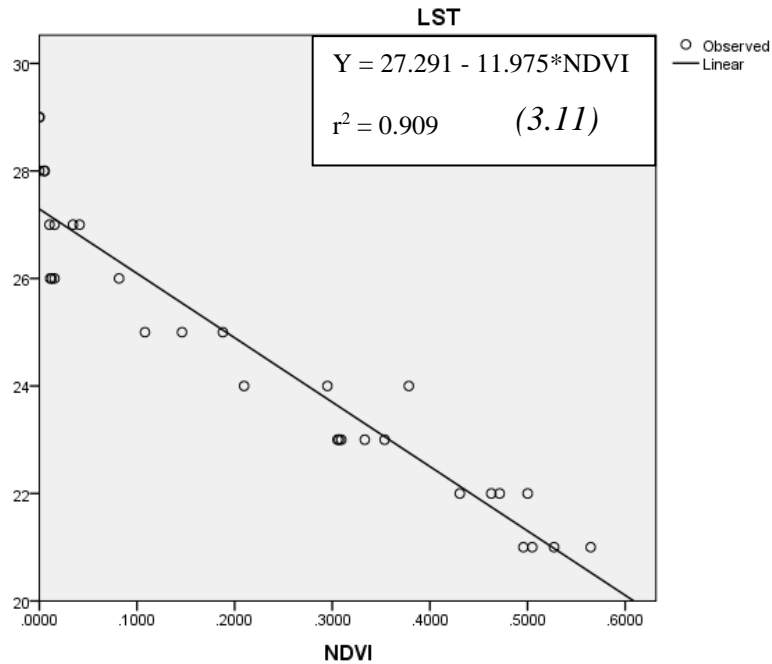
Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (Normalized Differential Vegetation Index – NDVI), gọi tắt là chỉ số thực vật, định lượng thảm thực vật bằng cách đo sự khác biệt giữa kênh cận hồng ngoại NIR (vùng bước sóng cho thực vật phản xạ mạnh) và kênh vùng ánh sáng đỏ RED (vùng bước sóng cho thực vật hấp thụ). Trong đó NIR, RED là phổ phản xạ của bề mặt ở dải sóng cận hồng ngoại và dải đỏ. Giá trị của NDVI là dãy số  $-1$  đến  $+1$ ; Giá trị NDVI thấp thể hiện nơi đó NIR (near infrared) và RED có độ phản xạ gần bằng nhau, cho thấy khu vực đó độ phủ thực vật thấp. Giá trị NDVI có giá trị âm cho thấy ở đó Vi có độ phản xạ cao hơn độ phản xạ của NIR, nơi đây không có thực vật, có thể là mặt nước, đất trống hay do mây phủ (Le và ctv, 2019).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED})/(\text{NIR} + \text{RED})$$



**Hình 3.30. Bản đồ Nhiệt độ - Thực vật**

Dải giá trị trên ảnh NDVI được chia thành các khoảng nhỏ bằng nhau và thực hiện thống kê Tsmx trong các khoảng NDVI bằng nhau này. Từ tập giá trị Tsmx và NDVI, tiến hành xác định  $R^2$  - là thước đo thống kê đại diện cho phần khác biệt đối với biến phụ thuộc được giải thích bởi biến độc lập hoặc các biến trong mô hình hồi quy.



**Hình 3.31. Tương quan giữa nhiệt độ (LST) và thực vật (NDVI)**

Phạm vi  $R^2$  từ -1 đến 1,  $R^2$  càng cao, mô hình phù hợp với dữ liệu càng tốt. Trong nghiên cứu này,  $R^2$  của mối tương quan là 0,9. Kết quả này cho thấy biến phụ thuộc  $T_s$  và biến độc lập NDVI có mối tương quan cao. Dựa trên biểu đồ tương quan (Hình 3.31) cho thấy, giá trị NDVI càng cao,  $T_s$  càng thấp và ngược lại.

Trong phương trình TVDI ở trên, cạnh khô từ biểu đồ tam giác (Hình 3.31) được ước tính bởi  $T_{smax} = a + b \cdot NDVI$ . Đây là dạng phương trình tuyến tính với  $T_{smax}$  là biến phụ thuộc và NDVI là biến độc lập. Từ hai giá trị đã biết này, cần phải xác định các hệ số  $a$  và  $b$  trong phương trình hồi quy.

Cơ sở tính toán phân vùng hạn dựa trên chỉ số khô hạn theo quan hệ nhiệt độ - thực vật (TVDI). Chỉ số này được xây dựng để xác định độ ẩm đất dựa trên không gian đồ thị ( $T_s$ , NDVI). Trong không gian này, vị trí của pixel bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố gồm nhiệt độ, độ phủ thực vật, độ ẩm, độ bay hơi và những đường đồng mức của yếu tố chính (độ ẩm, độ bay hơi) và có thể vẽ được trong tam giác xác định nên không gian ( $T_s$ , NDVI). TVDI rất nhạy cảm với lượng mưa. Đặc biệt, giá trị cao nhất của TVDI trong thời gian theo dõi sẽ tương ứng với lượng mưa ít hoặc không mưa và chỉ số này giảm đi trong những ngày có lượng mưa lớn. Tóm lại, TVDI lớn đồng nghĩa với điều kiện khô và ngược lại. Bên cạnh đó, các loại lớp phủ khác nhau sẽ cho dạng ( $T_s$ , NDVI) khác nhau và điều kiện khí quyển, độ ẩm bề mặt khác nhau, sự lựa chọn tỷ lệ cũng ảnh hưởng đến hình dáng của đồ thị phân tán trong không gian ( $T_s$ , NDVI).

Để tính chỉ số TVDI theo công thức trên cần xác định các chỉ số là hằng số và tham chiếu từ file metadata của ảnh Landsat 8 OLI như sau:

$$Bt \text{ max} = 297.323212$$

$$Bt \text{ min} = 147.517090$$

$$NDVI \text{ max} = 0.723434$$

$$NDVI \text{ min} = -0.720323$$

a, b là hệ số hàm hồi quy với biến phụ thuộc là LST và biến độc lập là NDVI điểm mẫu là các điểm được lấy từ các khoảng giá trị của NDVI

$$Y = -11.975 * X + 27.291 \quad (3.12)$$

$$R^2 = 0.909$$

$$a = -11.975$$

$$b = 27.291$$

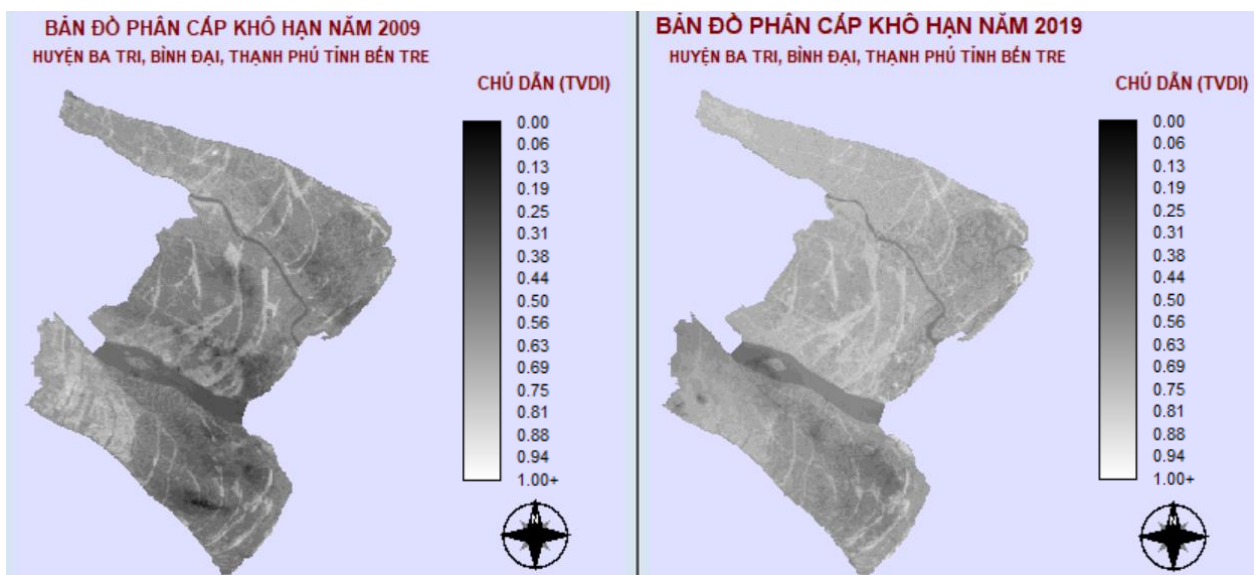
$$T_{smax} = 39$$

$$T_{smin} = 21$$

Thay các hệ số trên vào phương trình

$$TVDI = \left( \frac{T_s - T_{smin}}{(a + b * NDVI - T_{smin})} \right) \quad (3.13)$$

Từ kết quả bản đồ nhiệt độ bề mặt (LST) và bản đồ chỉ số thực vật (NDVI) và các hệ số trên, sử dụng chức năng Band Math trong phần mềm Envi 5.2 để thành lập bản đồ chỉ số TVDI năm 2009, 2019. Giá trị các pixel trong bản đồ TVDI năm 2019 biến thiên từ 0 đến 1. Dựa vào bảng phân cấp giá trị TVDI tiến hành phân vùng khô hạn cho địa bàn nghiên cứu.



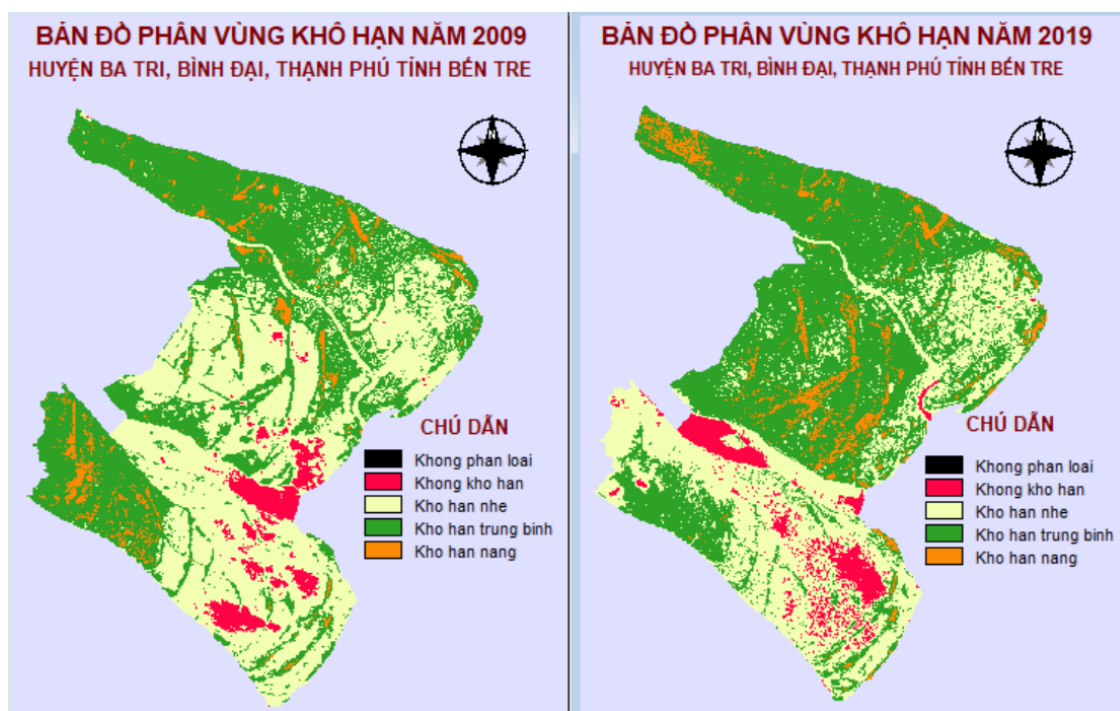
Hình 3.32. Bản đồ khô hạn năm 2009, 2019 theo chỉ số TVDI

Từ bản đồ TVDI năm 2009, 2019 được thành lập ở trên (**Hình 3.32**), dựa vào bảng phân cấp giá trị TVDI (**Bảng 3.12**) tiến hành phân vùng khô hạn cho địa bàn nghiên cứu. Kết quả giải đoán cho thấy có bốn mức độ khô hạn được phân cấp theo đó chủ yếu là diện tích không khô hạn và khô hạn nhẹ tại các khu vực trồng lúa và nuôi trồng thủy sản chiếm hơn 63% tổng diện tích vùng nghiên cứu, phân bố trên cả ba huyện trong đó tập trung nhiều tại huyện Thanh Phú.

**Bảng 3.13. Thống kê diện tích khô hạn năm 2009, 2019**

Mức độ khô hạn	Diện tích 2009 (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích 2019 (ha)	Tỷ lệ (%)	Biến động 2009-2019 (ha)
Không khô hạn	5.317,83	4,93	6.097,59	5,65	779,76
Hạn nhẹ	50.753,43	47,02	38.145,87	35,34	-12.607,56
Hạn trung bình	47.790,50	44,05	57.605,72	53,14	9.815,22
Hạn nặng	4.319,37	4	6.331,95	5,87	2.012,58
Tổng cộng	108.181,13	100,00	108.181,13	100,00	0,00

**Bảng 3.13** thể hiện kết quả thống kê biến động giai đoạn 2009-2019 cho thấy diện tích không khô hạn tăng không đáng kể, diện tích khô hạn nhẹ có xu hướng giảm trong khi diện tích hạn trung bình và hạn nặng có xu hướng tăng. Diện tích tăng giảm thể hiện trong Bảng 5, phân bố thể hiện trên bản đồ sau (**Hình 3.33**):



**Hình 3.33. Bản đồ khô hạn năm 2009, 2019**

**Hình 3.33** thể hiện phân bố khô hạn trên địa bàn nghiên cứu tại hai thời điểm 2009 và 2019 cho thấy mức độ khô hạn có thay đổi giữa khô hạn nhẹ và khô hạn trung bình. Nếu khô hạn nhẹ diễn ra phổ biến tại thời điểm 2009 thì khô hạn trung bình là hình thái chủ đạo ở thời điểm 2019. Diện tích khô hạn trung bình được tưới chủ động nên mức độ khô hạn của đất không ảnh hưởng đến cây trồng do đất được tăng độ ẩm nhờ tưới. Diện tích khô hạn nặng phân bố rải rác ở các huyện với diện tích không đáng kể.

### 3.3.8. Đánh giá tương quan giữa các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất

Từ kết quả đánh giá đặc điểm của từng yếu tố cho thấy khả năng tác động đến thay đổi sử dụng đất. Để cho thấy mức độ và xu hướng tác động của các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất, phương pháp hồi quy logistics nhị phân được sử dụng nhằm xác định mối tương quan giữa các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất. Đây là mối tương quan được xác định với giả thuyết rằng không có mối tác động nào từ các yếu tố khác làm thay đổi sử dụng đất. Từ đó đề tài nghiên cứu sử dụng kỹ thuật hồi quy logistic nhị phân đa biến để đánh giá mức độ tác động của các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất. Với biến phụ thuộc là thay đổi sử dụng đất và biến độc lập bao gồm các yếu tố tác động như: độ mặn đất (EC), mức độ khô hạn (TVDI), nhiệt độ trung bình ( $^{\circ}\text{C}$ ), lượng mưa trung bình (mm) và mức độ ngập (cm).

Biến phụ thuộc được xác định dựa vào bản đồ sử dụng đất năm 2009 và năm 2019 được giải đoán từ ảnh Landsat 5 và Landsat 8 để thành lập bản đồ biến động. Bản đồ biến động thể hiện chu chuyển giữa các loại sử dụng đất bao gồm đất lúa, đất cây lâu năm, đất mặt nước nuôi trồng thủy sản, đất dân cư xây dựng, đất trống, đất rừng và mặt nước (thủy hệ). Các trường hợp chu chuyển được phân thành hai loại là có thay đổi (được gán giá trị là 1) và không thay đổi (được gán giá trị là 0). Các biến độc lập lần lượt được xác định dựa vào kết quả thành lập các bản đồ chuyên đề bao gồm: Bản đồ xâm nhập mặn, bản đồ khô hạn, bản đồ nhiệt độ trung bình, bản đồ lượng mưa trung bình và bản đồ mức độ ngập. Các bản đồ lần lượt được chuyển sang dạng ảnh với độ lớn giá trị pixel (điểm ảnh) bằng với độ phân giải ảnh Landsat là 28.5m cùng hệ tọa độ VN2000 để đảm bảo sự đồng nhất về dữ liệu đầu vào cho các mô hình phân tích và dự báo.

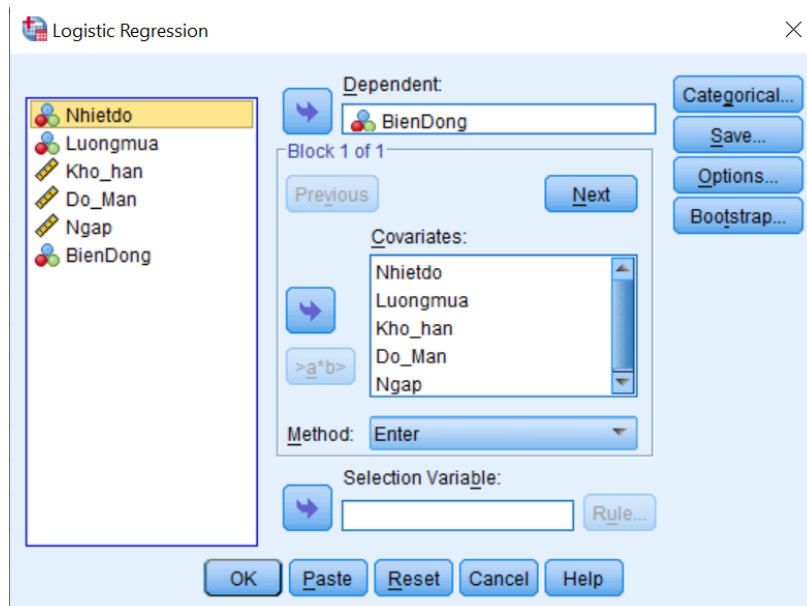
Để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất, nghiên cứu tiến hành chọn điểm mẫu dựa vào số lượng khoanh đất của mỗi loại đất. Khoanh đất là đơn vị cơ bản của bản đồ hiện trạng sử dụng đất, được xác định trên thực địa và thể hiện trên bản đồ bằng

một đường bao khép kín. Trên bản đồ hiện trạng sử dụng đất tất cả các khoanh đất đều phải xác định được vị trí, hình thể, loại đất theo hiện trạng sử dụng của khoanh đất đó (Thông tư 27/2018/TT.BTNMT về thống kê kiểm kê đất đai). Số lượng khoanh đất của từng loại đất sẽ được tính. Số lượng điểm mẫu sẽ được chọn 10% số lượng khoanh đất thể hiện ở **Bảng 3.14**.

**Bảng 3.14. Phân bố điểm mẫu theo loại đất**

STT	Loại đất	Diện tích (ha)	Điểm mẫu
1	Đất lúa	21.669,09	167
2	Cây lâu năm	16.826,79	246
3	Nuôi trồng thủy sản	27.937,35	98
4	Dân cư-xây dựng	19.482,37	453
5	Đất rừng	7.317,89	4
6	Đất trống	1.888,38	2
7	Thủy hệ	13.059,27	30
	<b>Tổng cộng</b>	<b>108.181,13</b>	<b>1,000</b>

Sử dụng chức năng chọn điểm mẫu ngẫu nhiên trên phần mềm GIS để tiến hành xác định vị trí các điểm mẫu. Lần lượt chọn mẫu ngẫu nhiên cho từng loại đất theo số lượng trên.



**Hình 3.34. Các biến trong mô hình hồi quy Logistic**

Các điểm mẫu ngẫu nhiên sau đó được chuyển thành các mẫu huấn luyện (ROIs) và lần lượt được gán các giá trị: Biến động (1: Biến động và 0: Không biến động); Nhiệt độ trung bình (oC); Lượng mưa trung bình (mm); Độ mặn (giá trị EC); Mức độ khô hạn (TVDI) và

Mức độ ngập (cm). Lần lượt các giá trị được nhập và đưa vào phần mềm SPSS 20 phân thành các biến phụ thuộc (Biendong) và biến độc lập bao gồm các biến: Nhietto, Luongmua, Kho\_han, Do\_man và Ngap. Phương pháp Enter được sử dụng trong phân tích hồi quy (**Hình 3.34**).

**Bảng 3.15. Kết quả phân tích các hệ số**

		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	181.137	5	.000
	Block	181.137	5	.000
	Model	181.137	5	.000

**Bảng 3.15** cho thấy sig của cả 3 chỉ số Step. Block. Model đều bằng  $0.000 < 0.05$  (độ tin cậy 95%) nên mô hình hồi quy là phù hợp và có ý nghĩa thống kê.

Kết quả thống kê cho thấy phân loại các pixel có thay đổi sử dụng đất và không thay đổi sử dụng đất theo hai tiêu chí: quan sát thực tế và dự đoán.

**Bảng 3.16. Phân loại biến động**

	Observed	Predicted		
		BienDong		Percentage Correct
		0	1	
Step 1	BienDong 0	543	96	85.0
	BienDong 1	183	178	49.3
Overall Percentage				72.1

*a. The cut value is .500*

+ Trong 639 trường hợp quan sát không thay đổi sử dụng đất thì dự đoán có 543 trường hợp không thay đổi. Tỷ lệ dự đoán đúng là 85.0%.

+ Trong 361 trường hợp quan sát thay đổi sử dụng đất, dự đoán có 178 trường hợp có thay đổi sử dụng đất. Tỷ lệ dự đoán đúng là 49.3%.

Như vậy, tỷ lệ trung bình dự đoán đúng là 72.1%.

**Bảng 3.17. Các biến trong mô hình hồi quy**

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 <sup>a</sup>	Nhietto	.062	.109	.318	1	.573	1.064
	Luongmua	.114	.232	.243	1	.622	1.121
	Kho_han	4.664	1.097	18.077	1	.000	10.030
	Do_Man	-.149	.025	34.226	1	.000	.862



	<b>B</b>	<b>S.E.</b>	<b>Wald</b>	<b>df</b>	<b>Sig.</b>	<b>Exp(B)</b>
Ngap	3.105	.608	26.086	1	.000	22.318
Constant	-4.905	1.161	17.851	1	.000	.007

a. Variable(s) entered on step 1: *Nhietdo, Luongmua, Kho\_han, Do\_Man, Ngap.*

**Bảng 3.17** thể hiện kết quả phân tích hồi quy cho thấy hai biến độc lập *Nhietdo* và *Luongmua* có giá trị *Sig* lần lượt là 0.573 và 0.622 (>0.05) sẽ bị loại khỏi mô hình do tác động không có ý nghĩa đến biến phụ thuộc. Nghĩa là những thay đổi về nhiệt độ và lượng mưa trong thời gian ngắn không ảnh hưởng đáng kể đến thay đổi sử dụng đất. Giá trị hồi quy (B) của biến *Do\_Man* mang giá trị âm cho thấy độ mặn tác động nghịch với thay đổi sử dụng đất nghĩa là khi độ mặn tăng thay đổi sử dụng đất có xu hướng giảm. Các biến *Kho\_han* và *Ngap* tác động tỷ lệ thuận với thay đổi sử dụng đất nghĩa là khi khô hạn và mức độ ngập tăng sẽ làm tăng khả năng thay đổi sử dụng đất.

Các biến còn lại sẽ được kiểm tra đa cộng tuyến bằng hồi quy tuyến tính Linear Regression. Đa cộng tuyến (Multicollinearity) là hiện tượng các biến độc lập (dự đoán) trong mô hình có tương quan tuyến tính lẫn nhau dẫn đến sự ước lượng mô hình hồi qui tuyến tính thiếu chính xác. Hiện tượng đa cộng tuyến thường xảy ra khi hệ số tương quan R của 2 biến độc lập lớn hơn 0,80.

Để kiểm tra hiện tượng đa cộng tuyến có thể dùng hệ số phóng đại phương sai (VIF - Variance Inflation Factor) để xác định dấu hiệu của đa cộng tuyến. Hệ số VIF được tính theo công thức:

$$VIF = \frac{1}{1-R_k^2} \quad (3.14)$$

Trong đó  $R_k^2$  là hệ số tương quan bội của biến thứ k trong mô hình hồi quy.

Hệ số phóng đại phương sai VIF của các biến càng lớn chứng tỏ cộng tuyến cao. Theo Gujarati and Porter (2008) nếu VIF của một biến vượt quá 10 thì biến đó được coi là cộng tuyến cao, cần phải loại ra khỏi mô hình.

**Bảng 3.18. Kết quả kiểm tra đa cộng tuyến:**

<b>STT</b>	<b>Tên biến</b>	<b>Kí hiệu</b>	<b>Giá trị VIF</b>
1	Khô hạn	Kho_Han	1,688
2	Độ mặn (EC)	Do_man	1,698
3	Mức độ ngập	Ngap	1,013

Tất cả các biến độc lập đều có giá trị VIF nhỏ hơn 10, do đó không có hiện tượng đa cộng tuyến trong mô hình hồi quy. Tiếp tục chạy mô hình hồi quy logistic nhị phân đa biến với 3 biến trên.

**Bảng 3.19. Phân loại biến động**

	Observed	Predicted		Percentage Correct
		0	1	
Step 1	BD	0	95	85.1
		1	181	50.1
Overall Percentage				72.5

a. The cut value is .500

+ Trong 639 trường hợp quan sát không thay đổi sử dụng đất thì dự đoán có 544 trường hợp không thay đổi. Tỷ lệ dự đoán đúng là 85.1%.

+ Trong 361 trường hợp quan sát thay đổi sử dụng đất, dự đoán có 181 trường hợp có thay đổi sử dụng đất. Tỷ lệ dự đoán đúng là 50.1%.

Như vậy tỷ lệ trung bình dự đoán đúng là 72.5%.

**Bảng 3.20. Các biến trong mô hình hồi quy**

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	
Step 1 <sup>a</sup>	Kho_han	4.691	1.097	18.303	1	.000	10.994
	Do_Man	-.149	.025	34.011	1	.000	.862
	Ngap	3.103	.608	26.056	1	.000	22.258
	Constant	-4.539	.947	22.949	1	.000	.011

a. Variable(s) entered on step 1: Kho\_han, Do\_Man, Ngap.

**Bảng 3.20** thể hiện kết quả hồi quy cho thấy giá trị **Sig** của tất cả các biến đều <0,05, có nghĩa là tất cả các biến độc lập đều có ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2009-2019. Giá trị **Exp(B)** được sử dụng để dự đoán xác suất thay đổi sử dụng đất xảy ra khi một đơn vị biến độc lập thay đổi (các biến độc lập còn lại không đổi). Kết quả hồi quy cho thấy khả năng thay đổi sử dụng đất tăng 10,994 lần khi mức độ khô hạn tăng một cấp và khả năng thay đổi sử dụng đất tăng 22,258 lần khi độ ngập tăng một cấp trong khi nếu độ mặn tăng một cấp thì xác suất thay đổi sử dụng đất giảm 0,862 lần. Từ đó phương trình hồi quy có dạng:

$$\log_e (P_i/(1 - P_i)) = 4.691 * Kho\_han - 0.149 * Do\_man + 3.103 * Ngap - 4.539$$

Phương trình hồi quy đa biến cho thấy khô hạn và mức độ ngập tương quan thuận, trong khi xâm nhập mặn có mối tương quan nghịch với thay đổi sử dụng đất. Điều đó giải thích tại sao càng khô hạn và mức độ ngập càng cao thì thay đổi sử dụng đất diễn ra càng nhiều và ngược lại. Trong khi đó khi độ mặn tăng (hoặc giảm) từ 5 lần trở lên thì xác suất thay đổi sử dụng đất hầu như là 100%. Nghĩa là khi đó người sử dụng đất sẽ phải chọn một hình thức canh tác khác phù hợp hơn. Trong 639 trường hợp không biến động thuộc 5 loại hình sử dụng đất bao gồm đất lúa có 101 mẫu, đất cây lâu năm 135 mẫu, đất thủy sản 216 mẫu, đất dân cư 128 mẫu và thủy hệ 59 mẫu. Độ mặn trung bình EC = 5,58, độ mặn cao nhất EC = 17,37, độ mặn thấp nhất EC = 0,18

#### ❖ **Tương quan giữa các yếu tố**

Sử dụng mô hình MOLUSCE với dữ liệu đầu vào (Inputs) bao gồm biến phụ thuộc là ảnh sử dụng đất tại hai thời điểm 2009 (Initial) và 2019 (Final) và biến độc lập (Spatial variables) bao gồm mức độ ngập, hạn hán và xâm nhập mặn. Tất cả các biến đều được chuyển về định dạng raster và tham chiếu cùng hệ tọa độ. Mô hình sẽ kiểm tra sự trùng khớp về hệ tọa độ (Check geometry) giữa các tờ ảnh trước khi thực hiện các bước tiếp theo.

Các yếu tố tác động hay còn gọi là các biến giải thích (hoặc biến không gian) như đã trình bày ở phần trước được đánh giá mối tương qua đến thay đổi sử dụng đất như là để giải thích nguyên nhân thay đổi sử dụng đất. Giữa các biến giải thích có mối tương quan hay không cần được đánh giá. Các chỉ số được sử dụng để đánh giá bao gồm Chỉ số Pearson, Chỉ số Cramer và Chỉ số thông tin chung về sự không chắc chắn. Đề tài sử dụng chỉ số Person để kiểm tra mối tương quan giữa các biến không gian. Về lý thuyết mô hình sẽ chắc chắn hơn nếu hệ số tương quan giữa các biến giải thích càng thấp vì tương quan giữa các biến giải thích (còn gọi là biến độc lập) sẽ dẫn đến hiện tượng đa cộng tuyến ảnh hưởng trực tiếp đến biến phụ thuộc là biến động sử dụng đất. Sử dụng chức năng đánh giá tương quan (evaluation correlation) của MOLUSCE để đánh giá mối tương quan giữa các biến độc lập. Kết quả đánh giá tương quan như sau:

**Bảng 3.21. Tương quan Pearson giữa các biến giải thích**

Chỉ số/biến	Kho_han	Do_man	Ngap_lut
Kho_han	...	0,468453211059	0,417580680616
Do_man		...	0,154834209197
Ngap_lut			...

Trong **Bảng 3.21** ta thấy tương quan giữa các yếu tố đều  $< 0.5$  thể hiện mối tương quan yếu giữa các yếu tố, chứng tỏ không có hiện tượng đa cộng tuyến trong mô hình. Do đó mô hình sẽ chọn tất cả các yếu tố Kho\_han, Do\_man và Ngap\_lut làm biến không gian.

### 3.4. Đánh giá tiềm năng chuyển đổi và kiểm định mô hình

#### 3.4.1. Xác định chỉ số tiềm năng chuyển đổi (Cramer'S V)

Tiềm năng chuyển đổi giữa các loại đất và lớp phủ mặt đất được xác định bởi lịch sử biến động và các yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất. Lịch sử biến động được tính toán thông qua diện tích biến động và sự thay đổi phân bố không gian giữa các loại hình sử dụng đất. Diện tích biến động sẽ được tính theo giá trị tuyệt đối (ha) và giá trị tương đối (%). Ngoài ra bản đồ sắc xuất chuyển đổi giữa hai thời điểm 2009 và 2019 cũng được lập. Đây là một trong những cơ sở quan trọng cho mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong tương lai.

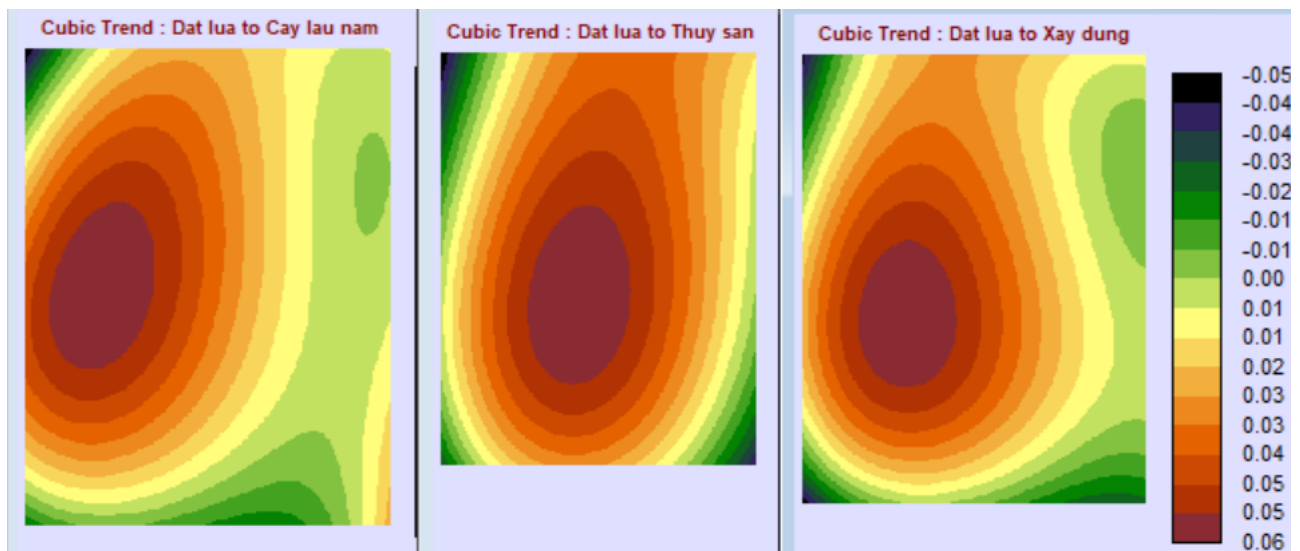
Mỗi loại hình sử dụng đất được xem như biến định lượng, sử dụng mô hình Land Change Modeler để kiểm tra tính hữu ích của các biến định lượng. Các biến định lượng được kiểm tra bằng chỉ số Cramer'S V.

**Bảng 3.22. Chỉ số Cramer'S V của các loại đất**

Lớp	Cramer's V	P Value
Overall V	0,8096	0,0000
Mat nuoc	0,9998	0,0000
Thuy san	0,8403	0,0000
Cay LN	0,8356	0,0000
Dan cu	0,7404	0,0000
Dat lua	0,5647	0,0000

Dat rung	0,9879	0,0000
Dat trong	0,9245	0,0000

**Bảng 3.22** thể hiện chỉ số Cramer's V tương ứng của các loại đất. Một Cramer's V cao chỉ ra rằng giá trị giải thích tiềm năng của biến là tốt, nhưng không đảm bảo hiệu suất mạnh mẽ vì nó không thể tính đến các yêu cầu toán học của phương pháp mô hình được sử dụng và độ phức tạp của mối quan hệ. Tuy nhiên, đó là một dấu hiệu tốt cho thấy một biến có thể bị loại bỏ nếu Cramer's V thấp. Giá trị P biểu thị xác suất Cramer's V không khác 0. Với các cỡ mẫu lớn thường liên quan, giá trị P thường là 0 (đến 4 chữ số thập phân). Lưu ý rằng điều này giả định rằng tất cả các pixel được lấy mẫu độc lập và không phụ thuộc không gian vào các giá trị của chúng. Vì vậy, giá trị P thấp không phải là một chỉ báo tốt về giá trị của một biến, nhưng giá trị cao là một dấu hiệu chắc chắn rằng nó có thể bị từ chối.

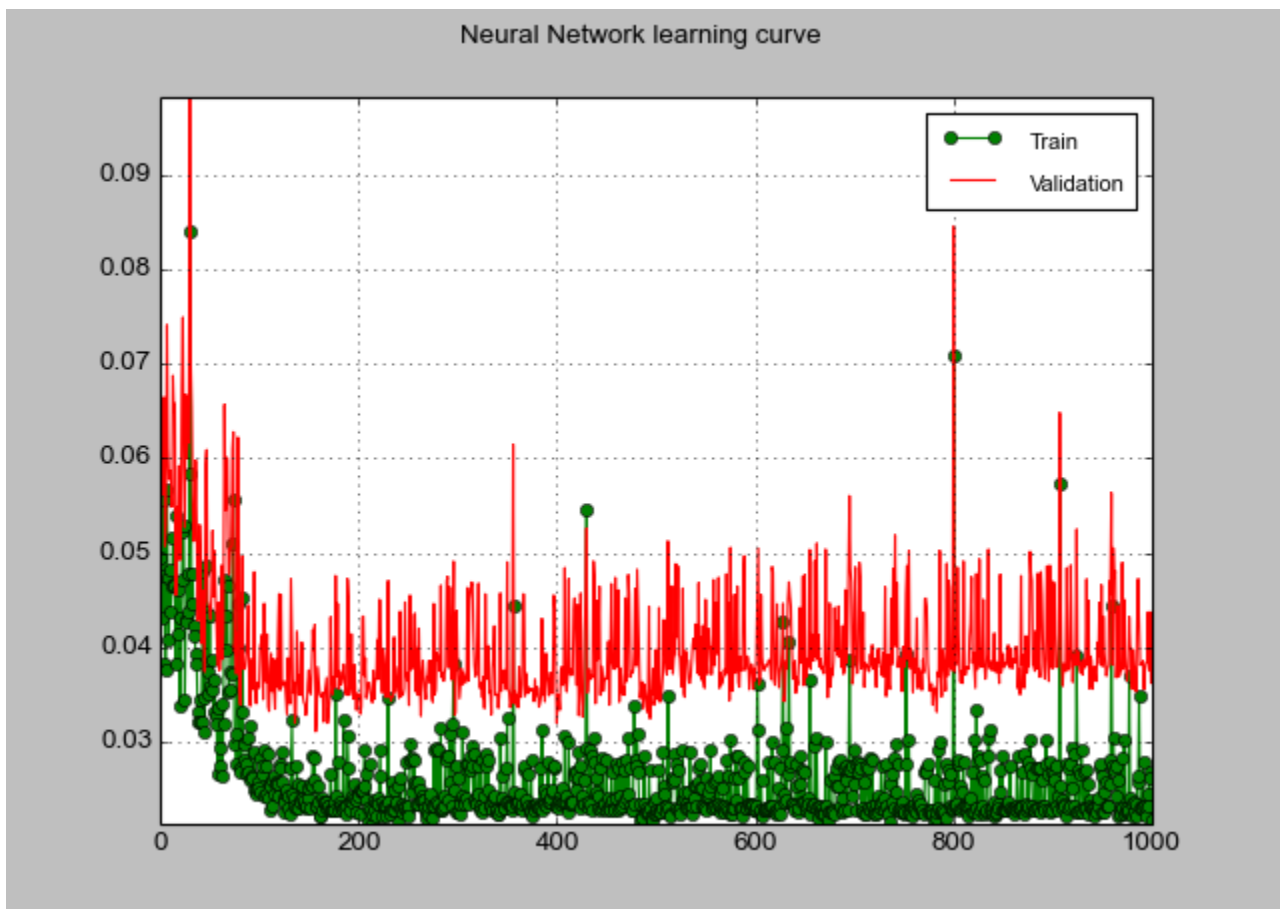


**Hình 3.35. Xu hướng chuyển đổi từ đất lúa sang các loại đất khác**

Từ kết quả phân tích biến động trên cho thấy kết quả chuyển đổi giữa các biến định lượng là các loại sử dụng đất về diện tích (thể hiện qua biểu chu chuyển đất đai) và phân bố không gian (thể hiện thông qua bản đồ thay đổi sử dụng đất). **Hình 3.35** thể hiện xu hướng thay đổi các loại đất. Để đánh giá khả năng chuyển đổi trong tương lai, Luận án sử dụng chức năng phân tích tiềm năng chuyển đổi (Transition potentials) trong mô hình Land Change Modeler.

### 3.4.2. Đánh giá tiềm năng chuyển đổi giữa các loại đất

Để đánh giá tiềm năng chuyển đổi giữa các loại đất, Luận án sử dụng mô hình MOLUSCE. Mô hình cung cấp nhiều phương pháp có sẵn để tính toán bản đồ tiềm năng chuyển tiếp như: Mạng nhân tạo nơ-ron thần kinh (Artificial Neural Network - ANN); Đánh giá đa tiêu chí (Multi Criteria Evaluation - MCE), Trọng số bằng chứng (Weights of Evidence - WoE) và Hồi quy logistic (Logistic Regression - LR). Mỗi phương pháp sử dụng thông tin sử dụng đất / che phủ và biến không gian làm đầu vào để hiệu chỉnh và mô hình hóa sử dụng đất / thay đổi lớp phủ trong tương lai.



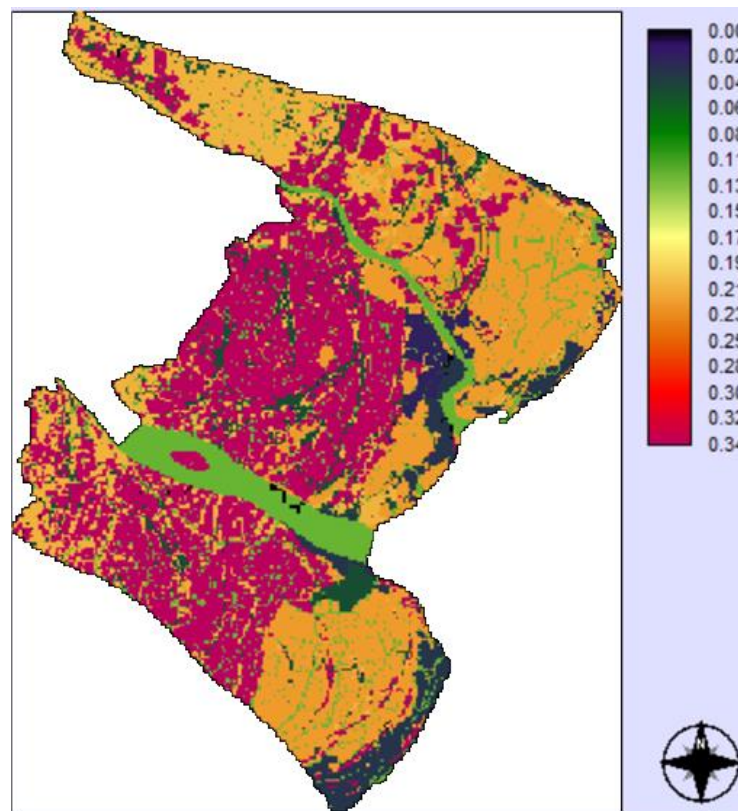
**Hình 3.36. Mô hình mạng Nơ-ron thần kinh**

**Hình 3.36** thể hiện phương pháp ANN được sử dụng để thực hiện chuyển đổi mô hình tiềm năng như là giai đoạn tiền dự đoán thay đổi sử dụng đất vào giai đoạn 2029 bằng cách sử dụng mô hình CA được tích hợp trong MOLUSCE, trình mô phỏng dựa trên hành vi thay đổi LULC ban đầu trong nguồn dữ liệu 2009 & 2019.

**Bảng 3.23. Đánh giá độ chính xác**

STT	Chỉ số	Giai đoạn 1999-2009	Giai đoạn 2009-2019
1	Số lần lặp lớn nhất	1000	1000
2	Lỗi tổng thể xác thực tối thiểu	0,03555	0,03111
3	Lỗi đạt được tối thiểu trên bộ mẫu xác thực	0,050	0,050
4	Kappa xác thực hiện tại	0,70004	0,83437
5	Độ chính xác tổng thể	$\pm 0,00850$	$\pm 0,00514$

Phương pháp ANN để mô hình hóa chuyển đổi tiềm năng với các chỉ số thể hiện trong **Bảng 3.23** cho thấy độ lặp 1000; Độ chính xác tổng thể ( $\Delta$  Overall Accuracy) là  $\pm 0,00514$ , chứa khoảng chênh lệch giữa sai số đạt được tối thiểu và sai số hiện tại; lỗi tổng thể xác thực tối thiểu của mô hình là 0,03111, lỗi đạt được tối thiểu trên bộ mẫu xác thực và hệ số Kappa xác thực hiện tại của mô hình là 0,83437 đảm bảo độ tin cậy cho quá trình mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong tương lai.

**Hình 3.37. Bản đồ tiềm năng chuyển đổi đất đai**

**Hình 3.37** thể hiện bản đồ tiềm năng chuyển đổi cho thấy tiềm năng chuyển đổi đất lúa, đất trồng và đất nuôi trồng thủy sản là cao trong khi đất dân cư xây dựng, đất rừng, đất nuôi trồng thủy sản là không cao. Kết quả trên hoàn toàn phù hợp với thực tế được thể hiện qua số liệu kiểm kê 5 năm và thống kê hàng năm.

### 3.4.3. Hiệu chỉnh mô hình

Dữ liệu sử dụng đất hai thời điểm năm 1999 và năm 2009 và các yếu tố tác động được sử dụng để mô phỏng thay đổi sử dụng đất đến năm 2019. Từ kết quả mô phỏng sử dụng đất năm 2019 tiến hành tham chiếu với bản đồ sử dụng đất thực tế năm 2019 (giải đoán từ ảnh vệ tinh) cho thấy sự phù hợp giữa kết quả dự báo và dữ liệu thực tế. Các chỉ số điều chỉnh để tiến hành kiểm định mô hình bao gồm: Các hệ số Kappa (bao gồm Kappa tổng thể, Kappa lịch sử và Kappa vị trí) và độ trùng lặp (%). Các chỉ số sẽ được điều chỉnh cho đến khi dữ liệu bản đồ tạo ra từ kết quả mô phỏng khớp với bản đồ thực tế giải đoán từ ảnh vệ tinh.

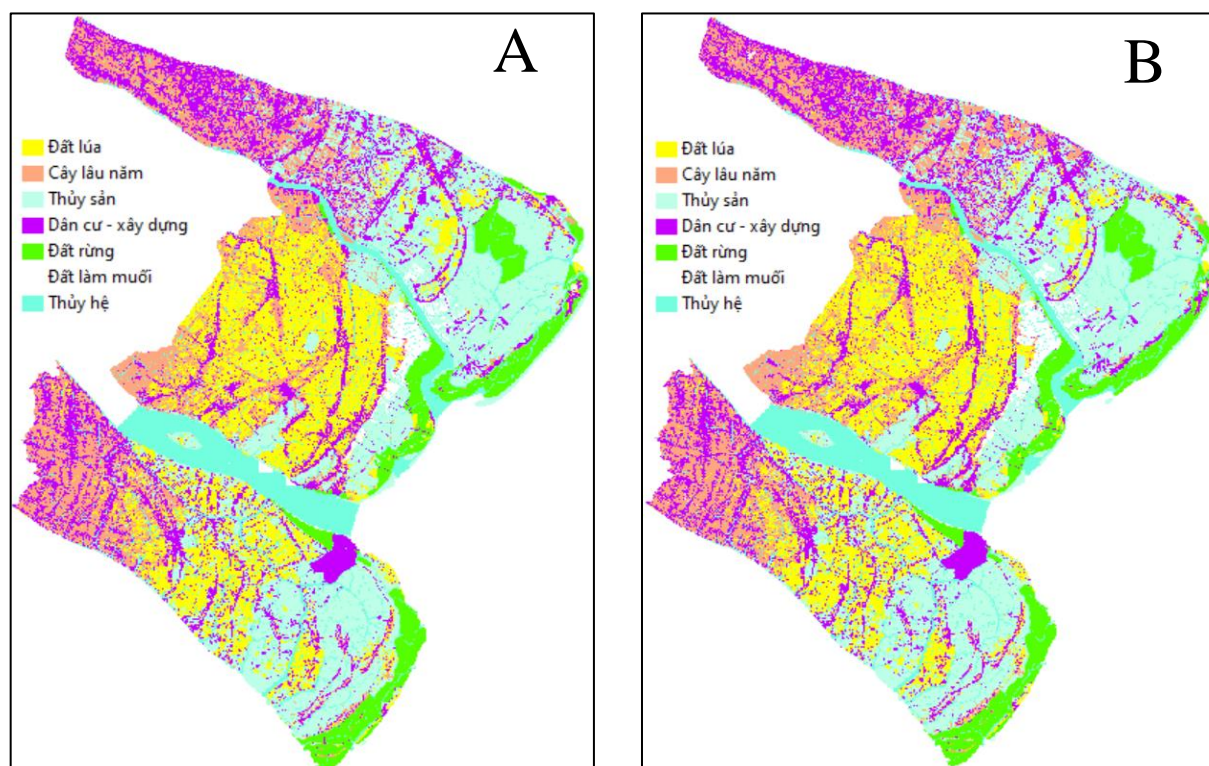
#### a. Dữ liệu đầu vào

Dữ liệu đầu vào của mô hình bao gồm bản đồ sử dụng đất/lớp phủ đất qua các thời điểm năm 1999, năm 2009 và năm 2019 (biến phụ thuộc) cũng như các biến không gian (biến giải thích) bao gồm mức độ ngập, hạn hán và xâm nhập mặn được chuyển về cùng định dạng ảnh, độ phân giải và cơ sở toán học. Thông tin sử dụng đất/thay đổi lớp phủ và biến không gian cũng được sử dụng để lập mô hình và mô phỏng những thay đổi về sử dụng/che phủ đất cho địa bàn nghiên cứu. Trong bước này sẽ kiểm tra hình học bao gồm độ phân giải pixel và hệ tọa độ nếu tất cả các dữ liệu đầu vào khớp với nhau thì chuyển sang bước tiếp theo.

#### b. Mô phỏng bằng thuật toán Cellular Automata

Bản đồ tiềm năng thay đổi và bản đồ sử dụng đất mô phỏng được tạo ra theo phương pháp tiếp cận tự động dữ liệu di động dựa trên thuật toán CA..





**Hình 3.38. Bản đồ hiện trạng SDD năm 2019 (A) Bản đồ mô phỏng SDD năm 2019 (B)**

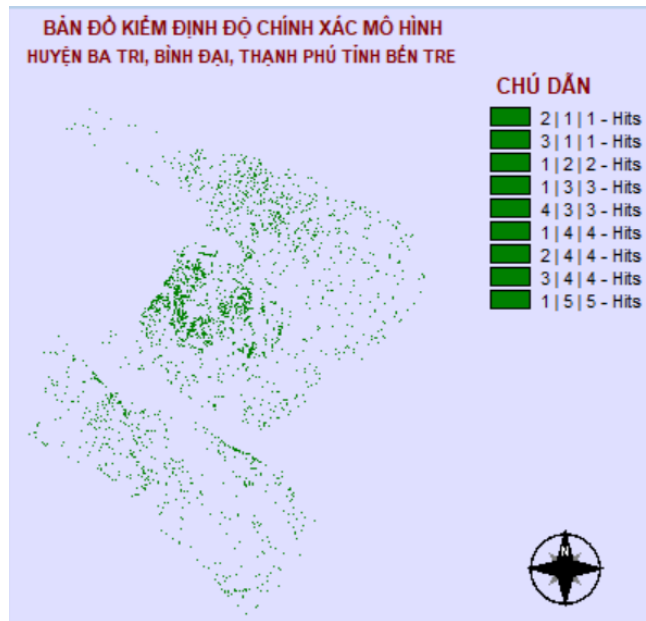
Dựa trên giá trị ma trận xác suất chuyển đổi thu được trong kết quả đánh giá biến động, Trình mô phỏng dữ liệu tự động mô phỏng số liệu sử dụng đất giai đoạn 1999-2009 và sử dụng đất thực tế tham khảo bản đồ thu được từ ảnh vệ tinh năm 2019 của vùng nghiên cứu để xác nhận mô hình và hiệu suất của mô hình này được đo lường bằng các hệ số Kappa bao gồm Kappa tổng thể (overall), Kappa lịch sử (histo), Kappa vị trí (loc) và mức độ trùng lặp (Correctness).

Các bản đồ sử dụng đất năm 1999, năm 2009 và năm 2019 được sử dụng để đánh giá tiềm năng chuyển đổi và mô phỏng thay đổi sử dụng đất. Lần lượt kiểm định độ chính xác kết quả mô phỏng sử dụng bản đồ sử dụng đất năm 2009 và năm 2019. Kết quả mô phỏng sẽ được so sánh với bản đồ thực tế (**Hình 3.38**). Các hệ số điều chỉnh bao gồm: Độ trùng lặp của bản đồ thực tế với bản đồ mô phỏng và các hệ số Kappa bao gồm Kappa tổng thể, Kappa lịch sử và Kappa vị trí.

**Bảng 3.24. Đánh giá độ chính xác qua các giai đoạn**

Giai đoạn	Độ trùng lặp (Correctness %)	Chỉ số Kappa lịch sử (histo %)	Chỉ số Kappa Vị trí (loc %)	Chỉ số Kappa tổng thể (overall %)
1999-2009	85,76	91,85	82,16	75,48
2009-2019	86,38	93,58	81,60	76,36

**Bảng 3.24** cho thấy các hệ số Kappa và độ trùng lặp giữa bản đồ dự báo và bản đồ thực tế giai đoạn 2009 – 2019 cao hơn giai đoạn 1999 – 2009. Đây là cơ sở Luận án chọn các hệ số điều chỉnh giai đoạn 2009-2019 để dự báo cho các năm 2029, 2039 và năm 2049.



**Hình 3.39. Bản đồ kiểm định độ chính xác mô hình mô phỏng**

**Hình 3.39** thể hiện hình ảnh đầu ra minh họa độ chính xác của kết quả mô hình:

A | B | B = Hits(xanh lục) - Pixel mô phỏng - Mô hình dự đoán thay đổi và nó đã thay đổi

A | A | B = Misses(đỏ) - Pixel mô phỏng - Mô hình được dự đoán là tồn tại và nó đã thay đổi.

### 3.5. Mô phỏng sử dụng đất đến năm 2029, 2039 và 2049

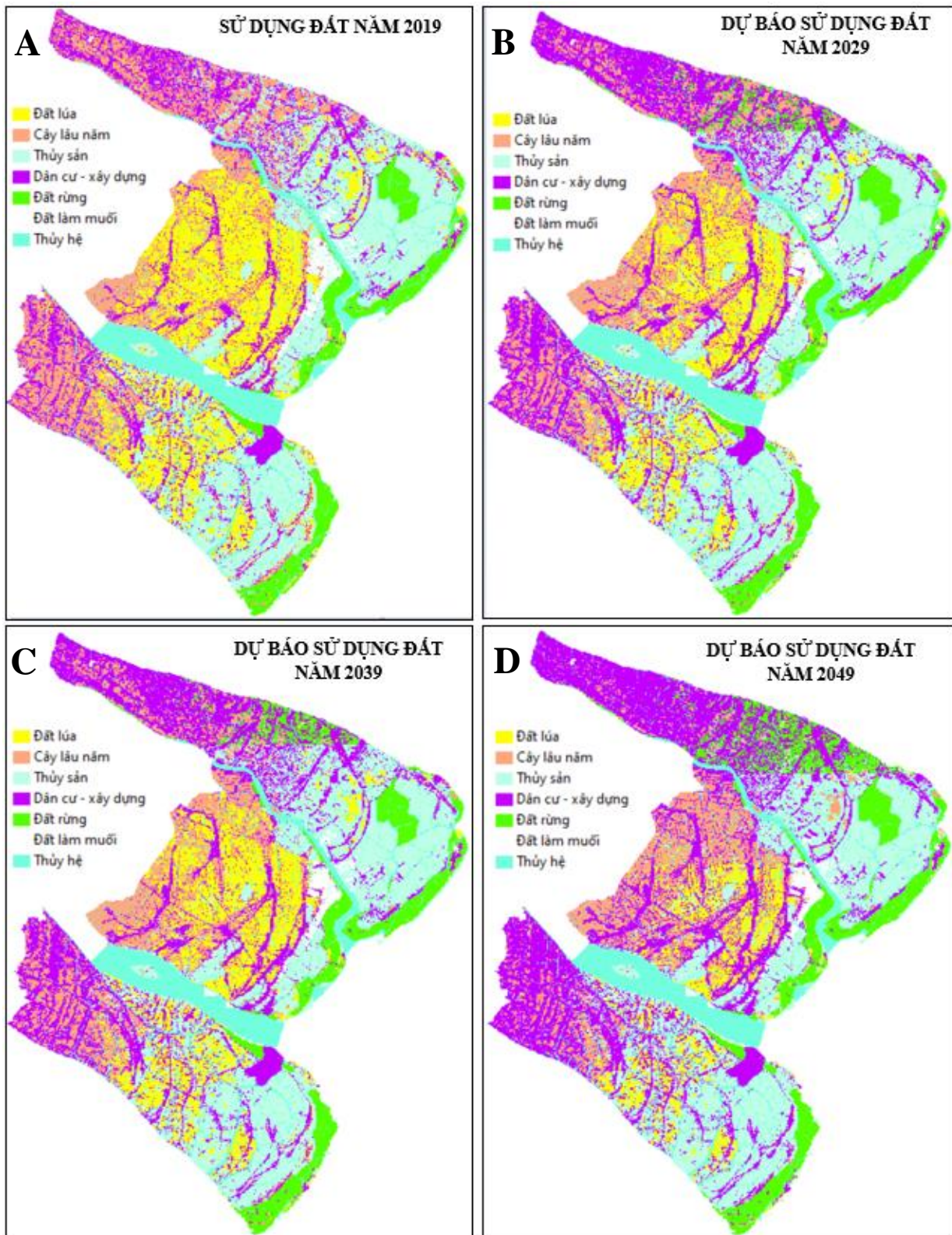
#### 3.5.1. Diện tích biến động qua các giai đoạn

Trên cơ sở kiểm định kết quả mô phỏng sử dụng đất năm 2019 với bản đồ sử dụng đất thực tế giải đoán từ ảnh Landsat 8 năm 2019 cho thấy hầu hết các hệ số Kappa đều trên 70% và độ trùng lặp của bản đồ thực tế với bản đồ mô phỏng trên 86% cho thấy độ chính xác bản đồ mô phỏng có độ tin cậy cao. Từ đó Luận Án tiến hành mô phỏng sử dụng đất cho các thời điểm năm 2029, năm 2039 và năm 2049 dựa trên tiềm năng chuyển đổi các giai đoạn 2009-2019, 2019-2029, 2029-2039 và các yếu tố tác động. Kết quả mô thể hiện qua **Bảng 3.25**.

**Bảng 3.25. Mô phỏng diện tích sử dụng đất đến năm 2049***Đvt: ha*

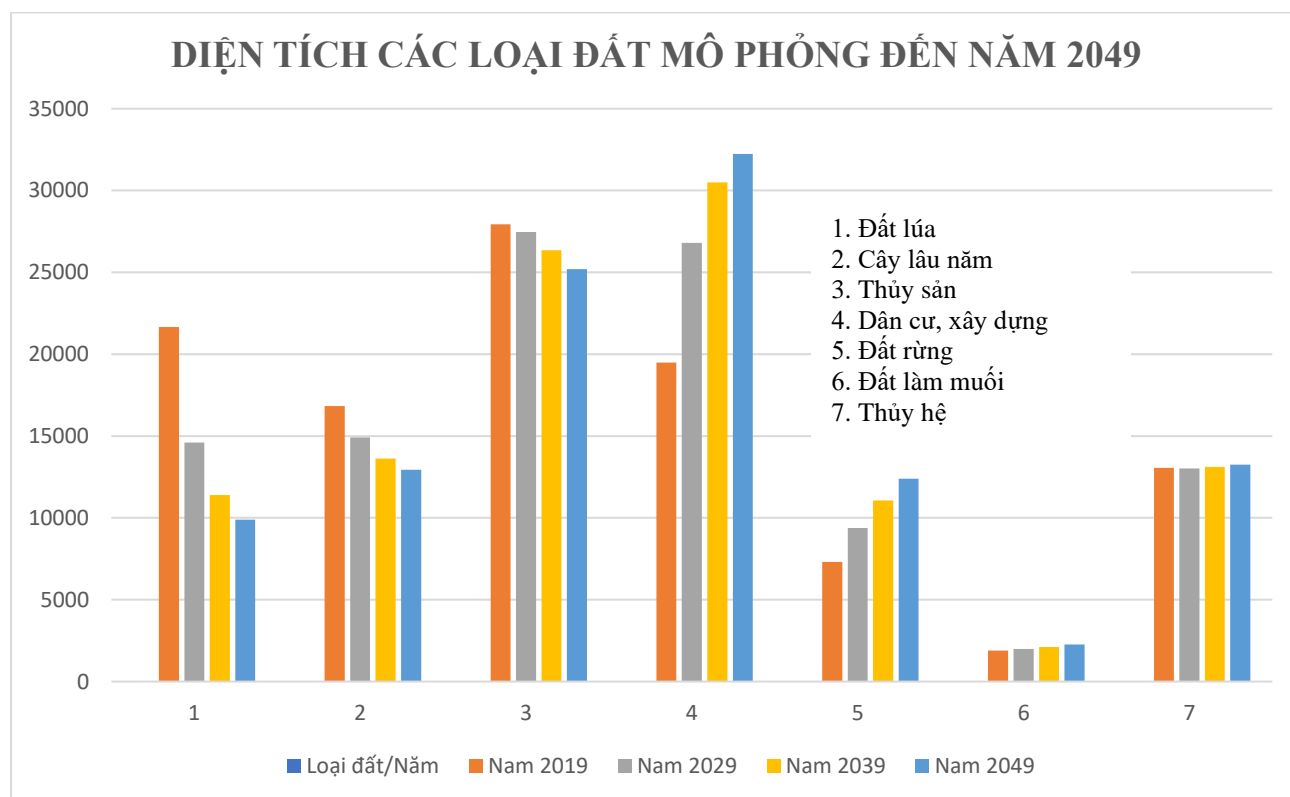
<b>Loại đất/Năm</b>	<b>Đất lúa</b>	<b>Cây lâu năm</b>	<b>Thủy sản</b>	<b>Đất dân cư</b>	<b>Đất rừng</b>	<b>Đất muối</b>	<b>Thủy hệ</b>
<b>Nam 2019</b>	21.669,09	16.826,79	27.937,35	19.482,37	7.317,89	1.888,38	13.059,27
<b>Nam 2029</b>	14.605,58	14.920,74	27.574,31	26.806,45	9.383,16	1.982,57	13.024,60
<b>Nam 2039</b>	11.409,63	13.648,77	26.535,60	30.511,88	11.076,90	2.117,28	13.119,44
<b>Nam 2049</b>	9.921,46	12.971,43	25.459,83	32.262,94	12.409,74	2.263,13	13.261,35

Diện tích dự báo các loại đất cơ bản phù hợp với phương án quy hoạch sử dụng đất giai đoạn 2021 - 2030 của tỉnh Bến Tre (gom theo 03 nhóm đất chính bao gồm đất nông nghiệp, đất phi nông nghiệp và đất chưa sử dụng) dựa trên cơ sở mở rộng không gian phát triển về hướng Đông; Trọng tâm là phát triển kinh tế biển, hạ tầng giao thông ven biển, kết nối tuyến đường ven biển cả nước; cảng biển và các ngành kinh tế biển: thủy sản, năng lượng sạch, công nghiệp, đô thị, du lịch; đảm bảo quốc phòng an ninh; thích ứng với biến đổi khí hậu; phát triển về hướng Đông đồng bộ với phát triển các huyện trong tỉnh trên cơ sở tiềm năng, lợi thế của mỗi địa phương và có sự kết nối, phối hợp đồng bộ với nhau.



Hình 3.40. Bản đồ sử dụng đất năm 2019 (A) và mô phỏng đến năm 2029 (B) năm 2039 (C) và năm 2049 (D)

Kết quả mô phỏng thể hiện ở **Hình 3.41** cho thấy đất dân cư – xây dựng, đất rừng và đất làm muối tăng qua các giai đoạn trong đó tăng mạnh nhất là đất dân cư – xây dựng trong khi đất mặt nước không biến động qua các giai đoạn. Diện tích rừng hiện có tiếp tục được chăm sóc bảo vệ và mở rộng; đặc biệt là diện tích rừng phòng hộ ven sông, ven biển, góp phần nâng cao chất lượng môi trường, chống xâm nhập mặn và biến đổi khí hậu.



**Hình 3.41. Diện tích mô phỏng các loại đất qua các giai đoạn**

Biến động sử dụng đất giai đoạn 2009 – 2019 thể hiện ở **Hình 3.40** cho thấy tổng diện tích không biến động (không thay đổi mục đích sử dụng đất) giai đoạn 2009 – 2019 là 65.607,30ha, chiếm 60,65% diện tích vùng nghiên cứu. Loại đất biến động nhiều nhất là đất trồng cây lâu năm với tỷ lệ biến động là 63,09% trong khi loại đất ít biến động nhất là thủy hệ với tỷ lệ biến động 16,23%. Giai đoạn này đất lúa giảm mạnh với diện tích giảm 15.942ha tập trung nhiều nhất tại cánh đồng Ba Tri và diện tích manh mún phân bố xen cài trong khu vực nuôi trồng thủy sản và khu dân cư cũng được chuyển đổi sang đất dân cư và nuôi trồng thủy sản. Diện tích đất trồng lúa giảm chuyển sang các loại đất trồng cây lâu năm, đất thủy sản và đất dân cư. Đất cây lâu năm giai đoạn này giảm 164ha sử dụng từ đất lúa. Đất thủy sản tăng 1.633ha và đất dân cư xây dựng tăng mạnh nhất với diện tích 12.409ha sử dụng từ đất lúa. Diện tích mặt nước giảm 259ha.

Giai đoạn 2019-2029 xu hướng biến động các loại đất không thay đổi tuy nhiên cường độ có thay đổi giữa các loại đất, trong đó đất lúa, đất cây lâu năm và đất nuôi trồng thủy sản cùng có xu hướng giảm với diện tích đất lúa giảm 7.064ha, đất trồng cây lâu năm giảm 1.906ha và đất nuôi trồng thủy sản giảm 363ha. Ngược lại với xu hướng giảm, các loại đất dân cư – xây dựng, đất rừng và đất làm muối với diện tích tăng lần lượt là: đất dân cư – xây dựng tăng 7.324ha, đất rừng 2.065ha và đất làm muối 94ha trong khi diện tích mặt nước biến động không đáng kể (giảm 34,67ha). Quan điểm sử dụng đất theo phương án quy hoạch sử dụng đất tỉnh Bến Tre giai đoạn 2021-2030 sẽ phân bố hợp lý 3 nhóm đất (nông nghiệp, phi nông nghiệp và chưa sử dụng) theo các tiêu chí: thích nghi sử dụng đất đai, các mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội, đáp ứng nhu cầu gia tăng dân số và ngày càng cải thiện nâng cao điều kiện ở, sản xuất, sinh hoạt của dân cư nhằm đảm bảo sử dụng đất đai một cách hiệu quả, bền vững, tiết kiệm, đồng thời chú trọng đến việc tôn tạo, cải thiện cảnh quan và góp phần bảo vệ môi trường sinh thái thích nghi với điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng.

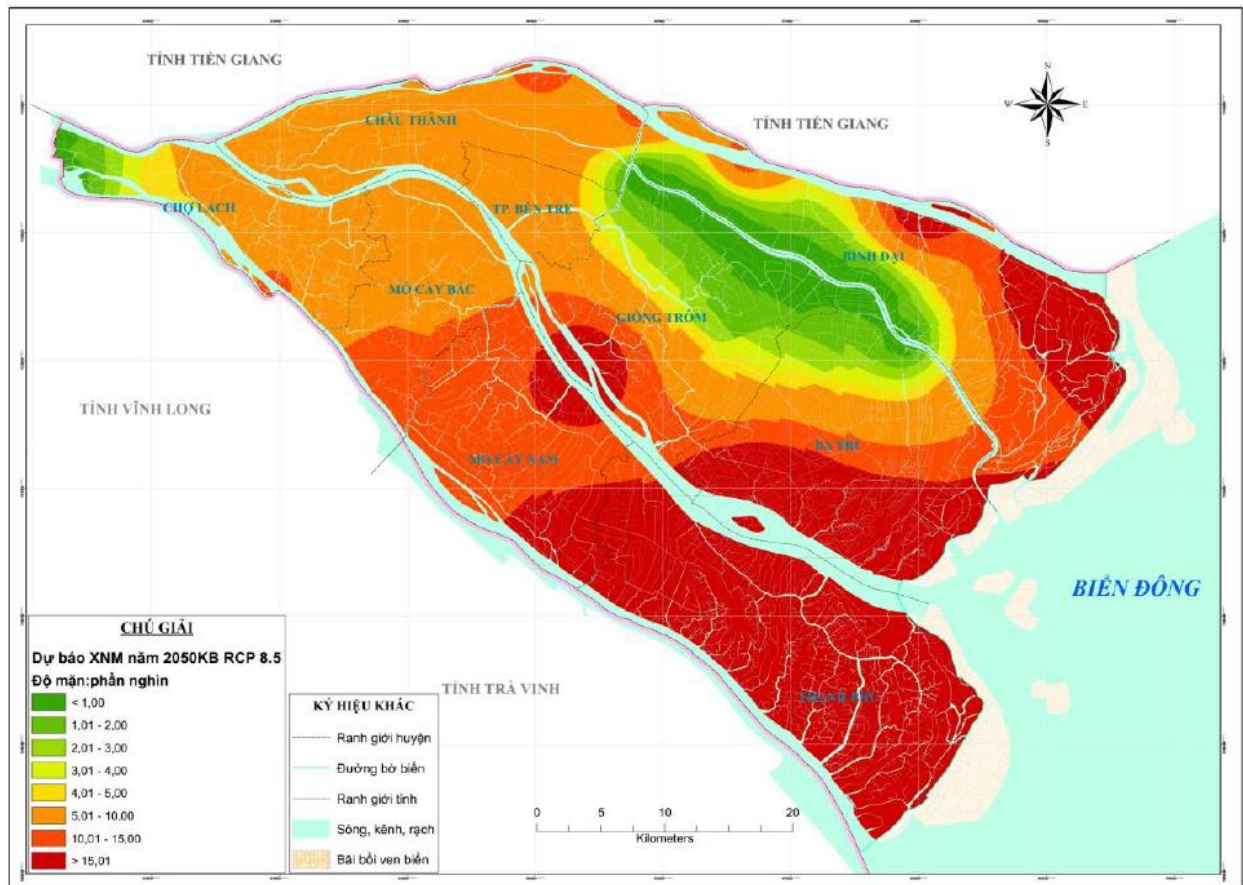
Giai đoạn 2029-2039 vẫn tiếp tục theo xu hướng trên, các loại đất lúa, đất cây lâu năm và đất nuôi trồng thủy sản cùng giảm với diện tích đất lúa giảm 3.196ha, đất trồng cây lâu năm giảm 1.272ha và đất nuôi trồng thủy sản giảm 1.039ha. Diện tích các loại đất có xu hướng tăng bao gồm đất dân cư xây dựng tăng 3.705ha, đất rừng tăng 1.694ha và đất làm muối tăng 135ha. Diện tích mặt nước biến động không đáng kể (tăng 95ha).

Giai đoạn 2039-2049 vẫn theo xu hướng trên tuy nhiên cường độ biến động giảm dần giữa các loại đất, giai đoạn này theo kịch bản biến đổi khí hậu diện tích ngập tại huyện Bình Đại khoảng 8%, tại huyện Ba Tri là 10% và diện tích này tại huyện Thạnh Phú là 12%. Theo đó diện tích đất lúa giảm 1.488ha, đất trồng cây lâu năm giảm 677ha, đất nuôi trồng thủy sản giảm 1.076ha trong khi diện tích đất dân cư tiếp tục tăng 1.751ha, đất rừng tăng 1.333ha, đất làm muối tăng 146ha trong khi mặt nước tăng 142ha.

### **3.5.2. Xu thế thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu**

Căn cứ kịch bản biến đổi khí hậu và kết quả mô phỏng thay đổi sử dụng đất đến năm 2049 cho thấy diện tích đất lúa giảm đều qua các giai đoạn với cường độ giảm dần từ 7.069ha giai đoạn 2019-2029 xuống 1.499ha giai đoạn 2039-2049 trong khi đất dân cư tăng đều qua

các giai đoạn với cường độ từ 7.324ha giai đoạn 2019-2029 và 1.732ha giai đoạn 2039-2049. Diện tích các loại đất cây lâu năm giảm qua các giai đoạn và diện tích đất nuôi trồng thủy sản tăng trong giai đoạn đầu 2009-2019 trong điều kiện nhiệt độ và lượng mưa ổn định và tiếp tục giảm với cường độ thấp hơn trong các giai đoạn sau trong điều kiện nhiệt độ và lượng mưa có xu hướng tăng. Diện tích đất mặt nước không biến động.



**Hình 3.42. Bản đồ xâm nhập mặn cao nhất trong thời kỳ 2050 theo kịch bản RCP 4.5**

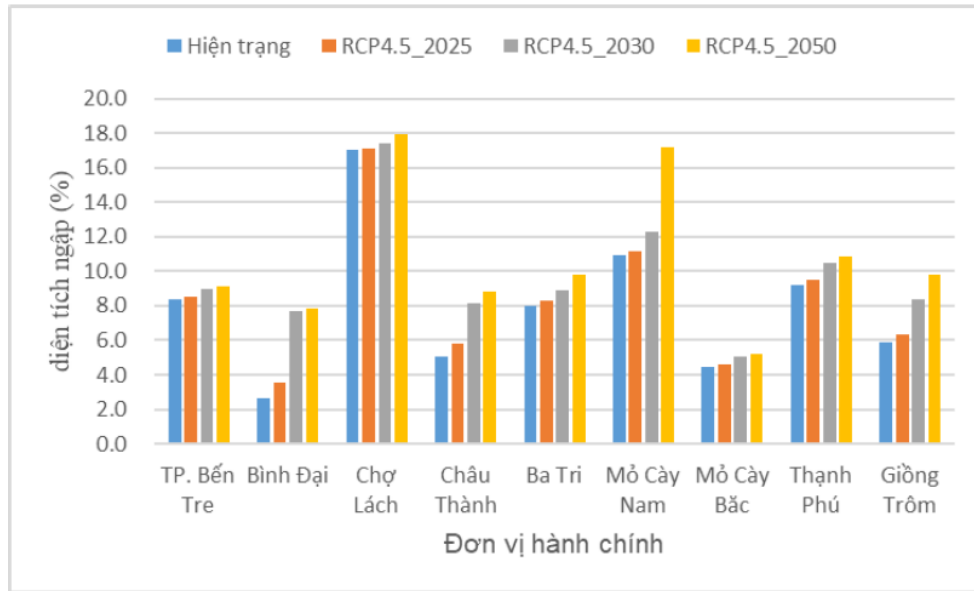
Kết quả tính toán lan truyền mặn theo kịch bản biến đổi khí hậu RCP4.5 và RCP8.5 năm 2050 cho thấy trên sông Cửa Đại, kết quả tính toán trong 6 tháng (từ tháng 1 đến tháng 6) tại khu vực cửa sông độ mặn lớn nhất khoảng 31.30/00 và 320/00 tương ứng với RCP4.5 và RCP8.5. Từ trạm Bình Đại vào sâu trong sông đến vị trí Lộc Thuận (vào khoảng 13km), độ mặn giảm đi đáng kể, với mức giảm gần 50% giá trị độ mặn, tại Lộc Thuận độ mặn cực đại khoảng 22.20/00 và 22.80/00 tương ứng RCP4.5 và RCP8.5. Trên sông Hàm Luông, kết quả tính toán độ mặn cho thấy mặn cực đại 6 tháng mùa khô tại trạm An Thuận là 33.80/00 ứng với RCP4.5 và 340/00 ứng với RCP8.5. Từ An Thuận vào sâu trong sông khoảng 13km, độ

mặn cực đại theo kịch bản RCP4.5 giảm xuống còn khoảng 30.30/00. Vào sâu trong sông đến khu vực Giồng Trôm, độ mặn cực đại khoảng 19.4 0/00 tại vị trí Giồng Trôm, vào sâu trong sông đến khu vực Mỹ Hóa độ mặn cực đại còn khoảng 14.30/00 ứng với RCP4.5 và 14.80/00 ứng với RCP8.5. Trên Sông Cổ Chiên, độ mặn cực đại tại cửa sông trạm Bến Trại là 32.90/00. vào sâu trong sông Cổ Chiên khoảng 20km đến khu vực Hương Mỹ, độ mặn cực đại dao động trong khoảng từ 19.80/00. Độ mặn tại ranh giới Vĩnh Long tại Khánh Thạnh Tân lớn nhất khoảng 11.10/00 ứng với RCP4.5 và 11.60/00 tại Khánh Thạnh Tân ứng với RCP8.5.

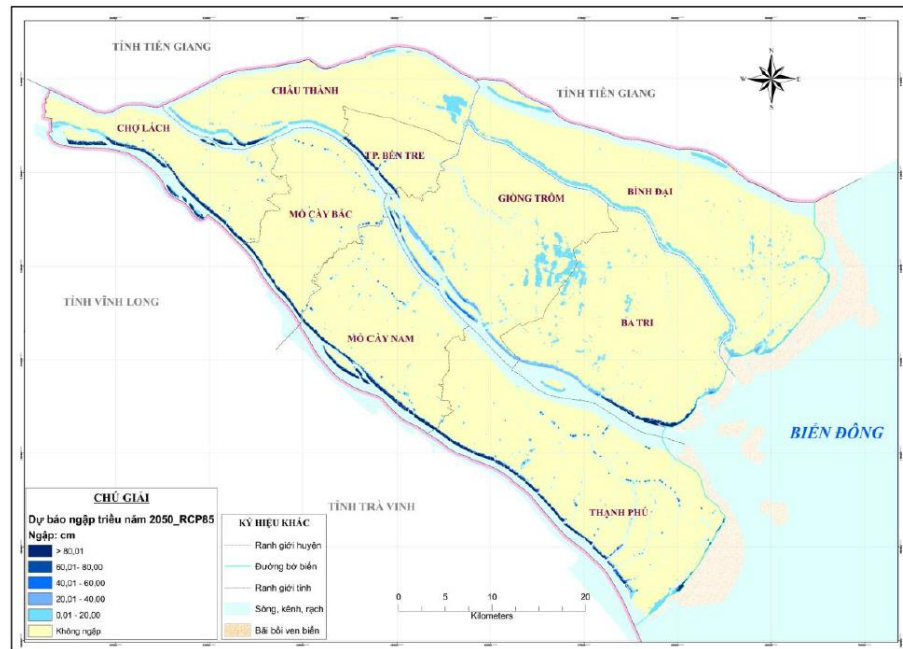
Kết quả đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất cho thấy mực nước biển dâng tác động mạnh nhất đến thay đổi sử dụng đất. Kết quả mô phỏng diện tích ngập (ha) do triều tại Bến Tre ứng với các kịch bản BĐKH đến năm 2050 thể hiện ở **Hình 3.42** cho thấy diện tích ngập của tỉnh Bến Tre trong các kịch bản BĐKH và NBD có diện tích ngập không lớn, nằm rải rác các huyện, nặng nề nhất phải kể đến Chợ Lách, Giồng Trôm, Ba Tri, Bình Đại, Châu Thành và Thạnh Phú. Kết quả tính toán cho thấy khu vực ngập nhiều nhất là Thạnh Phú, tuy nhiên xét về tỷ lệ phần trăm ngập theo diện tích của huyện thì huyện Chợ Lách có tỷ lệ % diện tích ngập lớn nhất với khoảng 18% diện tích của huyện.

Tài nguyên đất là một trong những dạng tài nguyên nhạy cảm với tác động của BĐKH và NBD. Mực nước biển dâng kết hợp với mưa lớn cũng như dòng chảy thượng nguồn có khả năng gây ngập lụt tỉnh Bến Tre, ảnh hưởng các công trình, cơ sở hạ tầng và đời sống cộng đồng dân cư trong tỉnh. Nước biển dâng là do triều cường, mực nước đỉnh triều cao nhất hàng ngày trên các sông rạch lên cao kết hợp với nước lũ thượng nguồn đổ về hoặc kết hợp với bão, áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng trực tiếp đến các huyện ven biển nói riêng và toàn tỉnh nói chung. Hiện tượng nước biển dâng thường xuất hiện từ khoảng giữa mùa mưa đến cuối năm, vào các tháng 8, 9, 10, 11 (tính theo lịch âm) và đoạn các ngày đầu tháng và giữa tháng (mùng 1 và 15); mỗi tháng xuất hiện 2 đợt nước dâng, mỗi đợt kéo dài từ 4 đến 7 ngày. Kết quả tính toán ảnh hưởng ngập đến sử dụng đất cho thấy đất trồng cây lâu năm, đất trồng lúa và đất nuôi trồng thủy sản là ba loại đất có nguy cơ ngập cao nhất, đặc biệt là đất trồng cây lâu năm và đất trồng lúa chịu tác động lớn nhất đến giữa thế kỷ theo kịch bản RCP8.5 (**Hình 3.44**). Đến năm 2050 theo kịch bản RCP8.5 thì đất trồng lúa bị ảnh hưởng lên đến 2.367 hecta trong khi hiện trạng bị ảnh hưởng chỉ khoảng 405 hecta

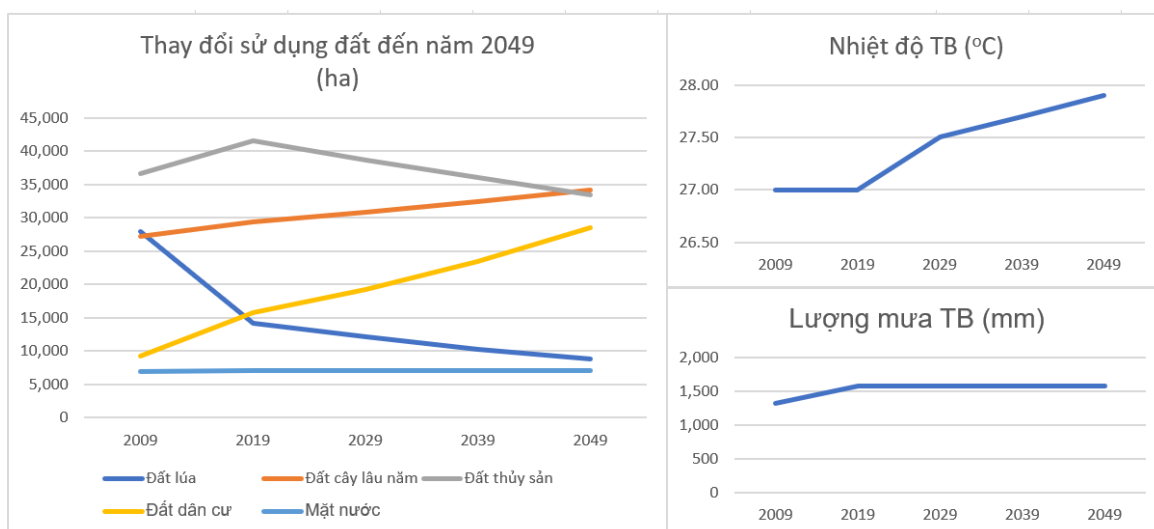




**Hình 3.43. Tỷ lệ diện tích nguy cơ ngập do triều cao nhất theo kịch bản RCP 4.5 năm 2050**



**Hình 3.44. Bản đồ tính toán nguy cơ ngập do triều cường đến năm 2050**



**Hình 3.45. Xu thế thay đổi sử dụng đất trong điều kiện biến đổi khí hậu**

Diễn biến thay đổi sử dụng đất trong điều kiện biến đổi khí hậu (Hình 3.44) cho thấy diện tích các loại đất biến động theo 3 xu hướng: Diện tích tăng bao gồm các loại đất dân cư – xây dựng, đất rừng và đất làm muối và diện tích giảm bao gồm các loại đất lúa, đất nuôi trồng thủy sản và đất trồng cây lâu năm trong khi mặt nước không biến động. Các biểu hiện của biến đổi khí hậu bao gồm nhiệt độ trung bình (°C) và lượng mưa trung bình (mm) có xung hướng tăng trong đó nhiệt độ tăng khá rõ nét (gần 1°C trong khi lượng mưa chỉ tăng khoảng 6mm trong thời gian 30 năm).

Vào năm 2025, nhiệt độ tăng khoảng 0,7°C so với thời kỳ nền trên toàn tỉnh Bến Tre, đến năm 2030 nhiệt độ tăng từ 0,8-0,9°C, phân bố nhiệt độ tăng dần theo hướng bắc nam, mức tăng cao nhất thuộc huyện Châu Thành và Tp. Bến Tre (0,9°C); Đến năm 2050, phân bố nhiệt độ khá giống với năm 2030 nhiệt độ tăng dần theo hướng bắc nam với mức tăng từ 1,29-1,4°C.

Lượng mưa năm 2025 mức độ biến đổi dao động từ 12,7-14,0%, phân bố tăng dần từ tây bắc xuống đông nam, đến năm 2050 lượng mưa tăng từ 12,2-14,4% với mức độ biến đổi cao nhất thuộc huyện ven biển tỉnh Bến Tre như Bình Đại, Ba Tri, Thạnh Phú.

### 3.6. Đề xuất giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong điều kiện BĐKH

Nhìn chung, các yếu tố hạn hán, ngập và xâm nhập mặn đều là những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến thay đổi sử dụng đất. Ngoài giải pháp tổng thể theo Quyết định 26/QĐ-UBND “Phê duyệt kế hoạch phòng, chống thiên tai giai đoạn 2018-2020” tỉnh Bến Tre với nguồn lực (tài chính và nhân lực) còn hạn chế, cần có các giải pháp lồng ghép mang tính khả thi và có kế hoạch thực hiện cụ thể cho từng giai đoạn, nhằm góp phần thúc đẩy sự phối hợp phát

triển tài nguyên đất đai, tạo công bằng về lợi ích kinh tế và phúc lợi xã hội, đồng thời không làm phương hại đến tính bền vững của các hệ sinh thái liên quan thiết yếu. Từ những kết quả nghiên cứu về ứng dụng GIS, RS và mô hình toán trong hỗ trợ giám sát và đánh giá thay đổi sử dụng đất, các yếu tố tác động tiêu cực đã được phân tích, nên cần có các giải pháp phù hợp nhằm đảm bảo phát triển bền vững như sau:

### **3.6.1. Giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất theo phương án quy hoạch**

Phương án phân bổ và khoanh vùng đất đai theo khu chức năng và theo loại đất đến từng đơn vị hành chính cấp huyện trong quy hoạch tỉnh Bến Tre đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 tỉnh Bến Tre là cơ sở để quy hoạch, kế hoạch các ngành, lĩnh vực, địa phương của tỉnh liên quan đến việc sử dụng đất; việc tổ chức thực hiện quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất phải thống nhất chặt chẽ từ tỉnh đến các huyện, thành phố đáp ứng yêu cầu phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng, an ninh của tỉnh. Theo đó việc sử dụng đất sẽ dựa vào quy hoạch và đây là cơ sở đánh giá thay đổi sử dụng đất cũng là căn cứ để giám sát thay đổi sử dụng đất theo phương án quy hoạch đã được phê duyệt. Cơ sở dữ liệu GIS đã được xây dựng từ Luận Án có thể cung cấp thông tin đầy đủ kịp thời về các yếu tố tác động ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất cũng như tiềm năng thay đổi. Đặc biệt là bản đồ tiềm năng thay đổi rất hữu ích trong thành lập bản đồ quy hoạch sử dụng đất, phù hợp với điều kiện tự nhiên và các yếu tố tác động KT-XH trong điều kiện BĐKH. Do đó kết quả mô phỏng từ MOLUSCE có thể được sử dụng để giám sát việc thực hiện quy hoạch sử dụng đất tỉnh Bến Tre giai đoạn 2020 – 2030 và định hướng đến năm 2050 bền vững và thích ứng với BĐKH.

### **3.6.2. Giải pháp cung cấp thông tin thay đổi sử dụng đất**

Kết quả đã minh chứng tính hiệu quả trong ứng dụng GIS và RS trong giám sát, xác định xu thế và đánh giá thay đổi sử dụng đất cho 3 huyện ven biển. Để góp phần hỗ trợ công tác quản lý nhà nước và phổ biến thông tin về sử dụng đất cho cộng đồng, cần thực hiện triển khai giải pháp bổ sung như sau:

Xây dựng WebGIS để chia sẻ dữ liệu và kết quả đạt được trong giám sát và đánh giá thay đổi sử dụng đất do các yếu tố tác động của BĐKH đến các đơn vị liên quan, nhằm triển khai giải pháp cụ thể theo Quyết định 26/QĐ-UBND. Ngoài ra, WebGIS được kết nối với điện thoại thông minh (Smart phone hay máy tính bảng) tạo công cụ cung cấp nhanh thông tin và các bản đồ chuyên đề trực quan đến cộng đồng, nhằm nâng cao ý thức người dân trong bảo vệ đất rừng, tạo biện pháp canh tác hiệu quả trên vùng đất nông nghiệp; tăng cường các biện pháp thực hành nông nghiệp tốt GAP (Good Agriculture Practice) trên địa bàn 3 huyện ven biển.

Ứng dụng WebGIS và Viễn thám trong giám sát vi phạm quy hoạch. Đặc biệt, việc mở rộng diện tích đất phi nông nghiệp hiện có do chủ yếu diễn ra dọc theo các tuyến đường giao thông chính và khu trung tâm. Hoặc giám sát xu thế cũng như quá trình đô thị hóa do chuyển đất phi nông nghiệp để phát triển kinh tế - xã hội và xây dựng kết cấu hạ tầng. Với khả năng tích hợp công nghệ GIS – GPS và RS có thể giám sát thay đổi sử dụng đất theo thời gian thực từ đó đề xuất cơ sở để nhà quản lý ra các quyết định phù hợp.

Cán bộ cơ quan quản lý ở địa phương cần sớm áp dụng công nghệ mới (WebGIS, GPS và Viễn thám) để tăng cường hoạt động, giám sát, thanh tra, kiểm tra hoạt động chuyển đổi sử dụng đất, đánh giá tác động các nguồn thải từ khu vực nuôi trồng thủy sản đến chất lượng nước,... nhằm bảo vệ môi trường nước, khi tình trạng xâm nhập mặn ngày càng tiến sâu vào nội đồng.

### **3.6.3. Giải pháp giám sát hạn hán và xâm nhập mặn**

Kết quả nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi sử dụng đất cho thấy việc ứng dụng công nghệ viễn thám và hồi quy logistic nhị phân đa biến có khả năng ứng dụng hiệu quả trong giám sát hạn hán và xâm nhập mặn thông qua thuật toán mô phỏng dựa trên các kênh phổ của ảnh viễn thám. Đây là một trong những giải pháp hiệu quả hiện nay nhờ vào tính đa dạng và phong phú của các loại ảnh vệ tinh với độ phân giải ngày càng cao nhằm nâng cao độ chính xác kết quả mô phỏng.

Để giám sát xâm nhập mặn, chỉ số muối hay chỉ số độ mặn (EC) được trích xuất từ xử lý ảnh viễn thám đã được nghiên cứu và đề xuất bởi các nhóm nghiên cứu khác nhau, nhằm làm nổi bật các biểu hiện về độ mặn trên đất. Tùy đặc điểm điều kiện tự nhiên, môi trường sinh thái, lớp phủ của khu vực,... để chọn chỉ số phù hợp. Thường các chỉ số muối/chỉ số độ mặn được tính từ các kênh phổ trong vùng sóng khả kiến và cận hồng ngoại. Các kênh phổ này phù hợp để có thể nghiên cứu thử nghiệm trên ảnh vệ tinh LANDSAT trong thành lập bản đồ xâm nhập mặn khu vực tỉnh Bến Tre.

Để giám sát hạn hán, hiện nay có nhiều phương pháp tính chỉ số khô hạn, tuy nhiên có hai phương pháp phổ biến bao gồm: Phương pháp tính chỉ số khô hạn từ số đo trạm khí tượng thủy văn và phương pháp viễn thám. Luận án đã đề xuất phương pháp Viễn thám để tính chỉ số khô hạn. Theo đó cần chọn loại ảnh viễn thám phù hợp để xử lý biểu diễn phân bố vùng hạn hán theo không gian và thời gian.

### 3.6.4. Giải pháp chuyển đổi cơ cấu cây trồng thích ứng với BĐKH

Từ kết quả phân tích chu chuyển đất đai đã cho thấy xu thế chuyển đổi cơ cấu cây trồng trong quá khứ. Đây là cơ sở quan trọng để đề xuất giải pháp chuyển đổi cơ cấu cây trồng trong tương lai. Quy hoạch tỉnh đến năm 2030 tầm nhìn 2050 tỉnh Bến Tre đã xác định kinh tế nông nghiệp đóng vai trò quan trọng trong cơ cấu kinh tế. Phát triển nông nghiệp phải gắn với ứng dụng khoa học - công nghệ, đáp ứng yêu cầu phát triển xanh, bền vững, nâng cao giá trị sản phẩm, gắn thị trường toàn cầu. Để ứng phó với biến đổi khí hậu cần phải tạo vành đai rừng ven biển, rừng phòng hộ ngăn sóng gió và nước biển dâng cao. Thực hiện có hiệu quả các biện pháp quản lý đất rừng phòng hộ. Xây dựng cơ chế khuyến khích ưu đãi người trồng rừng nhằm tăng mật độ che phủ, hạn chế xâm nhập mặn, sạt lở đất bảo vệ bãi bồi, thúc đẩy quá trình bồi tụ. Bên cạnh đó, đầu tư đồng bộ hệ thống thủy lợi để đảm bảo tính bền vững. Do đó phải duy trì một tỷ lệ đất đai hợp lý cho nông nghiệp. Trong đó đất lúa có diện tích 9.921ha (chiếm 9,17%), đất trồng cây lâu năm có diện tích 12.971ha (chiếm 11,99%), đất nuôi trồng thủy sản có diện tích 25.460ha (chiếm 23,53%). Như vậy tỷ lệ diện tích đất nông nghiệp chiếm hơn 58,26% tổng diện tích tự nhiên. Từ kết quả dự báo Luận Án đề xuất sử dụng hợp lý tài nguyên đất của vùng cần xác định hướng chuyển dịch cơ cấu cây trồng phù hợp với điều kiện tự nhiên, KT-XH nhằm khắc phục tình trạng bất hợp lý trong SĐĐ, thích ứng với các điều kiện sản xuất bất lợi như hạn hán, thiếu nước, xâm nhập mặn... và thoái hóa đất. Đồng thời, để ngăn ngừa, giảm thiểu thoái hóa đất tiến tới sản xuất nông nghiệp bền vững thì cần áp dụng các biện pháp quản lý đất bỏ hoang sau canh tác nông nghiệp như trồng lúa, nuôi trồng thủy sản giúp đất nhanh được phục hồi, tăng khả năng quay vòng của đất, nâng cao năng suất cây trồng. Trên các vùng đất mặn ở xa vùng nước ngọt cần đắp những con đê nhỏ bao quanh các cánh đồng ruộng để kiểm soát sự xâm nhập mặn. Đưa các giống lúa chịu được mặn trồng ở đây vào mùa mưa. Trong quá trình SĐĐ cần phải rà soát điều chỉnh quy hoạch đất đai kịp thời và bố trí cơ cấu cây trồng hợp lý.

### KẾT LUẬN CHƯƠNG III

Từ bản đồ sử dụng đất và ảnh vệ tinh bằng các kỹ thuật giải đoán, phân tích đã cho thấy lịch sử thay đổi sử dụng đất tại 3 huyện ven biển của tỉnh Bến tre qua các thời điểm 1999, 2009 và 2019. Kết quả phân tích thay đổi sử dụng đất cho thấy, giai đoạn 1999-2009 đất cây lâu năm, đất thủy sản, đất trống và đất thủy hệ có xu thế giảm trong khi ba loại đất bao gồm đất lúa, đất dân cư, và đất rừng có xu hướng tăng. Diện tích tăng mạnh nhất là đất lúa với diện tích 13.898ha trong khi diện tích giảm mạnh nhất là đất thủy sản với diện tích 8.269ha. Giai đoạn 2009 – 2019 tình hình thiên tai có nhiều diễn biến phức tạp như hạn hán và xâm nhập mặn năm 2016. Đồng thời, Đề án tái cơ cấu ngành nông nghiệp theo hướng nâng cao giá trị

gia tăng và hiệu quả bền vững đã ảnh hưởng đáng kể đến sản xuất nông nghiệp của tỉnh Bến Tre nói chung và các huyện ven biển nói riêng. Trong đó diện tích trồng lúa bị ảnh hưởng nhiều nhất tại các huyện Ba Tri, Bình Đại và Thạnh Phú, với 51,16% chuyển sang các loại đất khác trong đó chủ yếu là đất trồng cây lâu năm, đất nuôi trồng thủy sản và đất xây dựng.

Kết quả phân tích thay đổi sử dụng đất còn cho thấy hạn hán, xâm nhập mặn và mức độ ngập lụt là những yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất. Kết quả đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất cho thấy mực nước biển dâng tác động mạnh nhất đến thay đổi sử dụng đất. Kết quả mô phỏng cho thấy diện tích đất lúa giảm mạnh tập trung nhiều nhất tại cánh đồng Ba Tri và diện tích manh mún phân bố xen cài trong khu vực nuôi trồng thủy sản và khu dân cư cũng được chuyển đổi sang đất dân cư và nuôi trồng thủy sản. Đất cây lâu năm và đất nuôi trồng thủy sản cũng giảm trong khi đất dân cư xây dựng, đất rừng và đất làm muối tăng và diện tích mặt nước không thay đổi nhiều ở các giai đoạn đầu, đến giai đoạn 2039 – 2049 diện tích có tăng nhẹ do mực nước biển tăng theo dự báo từ kịch bản biến đổi khí hậu. Ngoài ra kết quả mô phỏng diện tích ngập do triều tại Bến Tre ứng với các kịch bản BĐKH đến năm 2050 cho thấy diện tích ngập của tỉnh Bến Tre trong các kịch bản BĐKH và NBD có diện tích ngập không lớn. Vào năm 2025, nhiệt độ tăng khoảng  $0,7^{\circ}\text{C}$  so với thời kỳ nền trên toàn tỉnh Bến Tre, đến năm 2030 nhiệt độ tăng từ  $0,8-0,9^{\circ}\text{C}$ , phân bố nhiệt độ tăng dần theo hướng bắc nam, mức tăng cao nhất thuộc huyện Châu Thành và Tp. Bến Tre ( $0,9^{\circ}\text{C}$ ); Đến năm 2050, phân bố nhiệt độ khá giống với năm 2030 nhiệt độ tăng dần theo hướng bắc nam với mức tăng từ  $1,29-1,40^{\circ}\text{C}$ . Kết quả tính toán lan truyền mặn theo kịch bản biến đổi khí hậu RCP4.5 và RCP8.5 năm 2050 trên các sông Cửa Đại, Sông Hàm Luông và sông Cổ Chiên dao động từ  $11,60/00$  đến  $22,80/00$ .

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy các yếu tố hạn hán, ngập và xâm nhập mặn đều là những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến thay đổi sử dụng đất tỉnh Bến Tre. Với nguồn lực (tài chính và nhân lực) còn hạn chế, Tỉnh cần có các giải pháp lồng ghép mang tính khả thi và có kế hoạch thực hiện cụ thể cho từng giai đoạn, nhằm góp phần thúc đẩy sự phối hợp phát triển tài nguyên đất đai, tạo công bằng về lợi ích kinh tế và phúc lợi xã hội, đồng thời không làm phương hại đến tính bền vững của các hệ sinh thái liên quan thiết yếu. Từ những kết quả nghiên cứu về ứng dụng GIS, RS và mô hình toán trong hỗ trợ giám sát và đánh giá thay đổi sử dụng đất, các yếu tố tác động tiêu cực đã được phân tích, Luận án đã đề xuất các giải pháp phù hợp bao gồm giải pháp về giám sát thực hiện quy hoạch, giải pháp ứng dụng GIS và Viễn thám, giải pháp nâng cao hiệu quả sử dụng đất đai, giải pháp chuyển đổi cơ cấu cây trồng nhằm đảm bảo phát triển bền vững.

## KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ

### Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã giải quyết được các mục tiêu và nội dung đã xác định. Luận Án đã phân tích đặc điểm điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội có ảnh hưởng đến sử dụng đất, phân tích các yếu tố tự nhiên và đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố này đến thay đổi sử dụng đất từ đó mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre dựa trên công nghệ tích hợp GIS, RS và mô hình toán. Từ kết quả đạt được, Luận án đã đề xuất các giải pháp trong giám sát thay đổi sử dụng đất phục vụ phát triển đất đai bền vững. Các kết quả chính của Luận án đạt được như sau:

1. Thay đổi sử dụng đất diễn ra trong giai đoạn 1999 – 2019 khá phức tạp do tác động từ nhiều yếu tố và ảnh hưởng của BĐKH. Kết quả phân tích thay đổi sử dụng đất cho thấy, giai đoạn 1999-2009 đất cây lâu năm, đất thủy sản, đất trồng và đất thủy hệ có xu thế giảm trong khi ba loại đất bao gồm đất lúa, đất dân cư, và đất rừng có xu hướng tăng. Diện tích tăng mạnh nhất là đất lúa trong khi diện tích giảm mạnh nhất là đất thủy sản. Giai đoạn 2009 – 2019 tình hình thiên tai có nhiều diễn biến phức tạp như hạn hán và xâm nhập mặn năm 2016. Đồng thời, Đề án tái cơ cấu ngành nông nghiệp theo hướng nâng cao giá trị gia tăng và hiệu quả bền vững đã ảnh hưởng đáng kể đến sản xuất nông nghiệp của tỉnh Bến Tre nói chung và các huyện ven biển nói riêng. Trong đó diện tích trồng lúa bị ảnh hưởng nhiều nhất tại các huyện Ba Tri, Bình Đại và Thạnh Phú, với 51,16% chuyển sang các loại đất khác trong đó chủ yếu là đất trồng cây lâu năm, đất nuôi trồng thủy sản và đất xây dựng.
2. Kết quả phân tích thay đổi sử dụng đất còn cho thấy hạn hán, xâm nhập mặn và mức độ ngập lụt là những yếu tố tác động đến thay đổi sử dụng đất tại các huyện ven biển thuộc tỉnh Bến Tre. Phân tích tương quan giữa thay đổi sử dụng đất với các yếu tố cho thấy khô hạn và mức độ ngập tương quan thuận, trong khi xâm nhập mặn có mối tương quan nghịch với thay đổi sử dụng đất. Điều đó giải thích tại sao càng khô hạn và mức độ ngập càng cao thì thay đổi sử dụng đất diễn ra càng nhiều và ngược lại. Trong khi đó khi độ mặn tăng (hoặc giảm) từ 5 lần trở lên thì xác suất thay đổi sử dụng đất hầu như là 100%, nghĩa là khi đó người sử dụng đất sẽ phải chọn một hình thức canh tác khác phù hợp hơn. Lượng hóa mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến thay đổi sử dụng đất từ kết quả hồi quy Logistic nhị phân đa biến cho thấy khả năng thay đổi sử dụng đất tăng 10,994 lần khi mức độ khô

hạn tăng một cấp và khả năng thay đổi sử dụng đất tăng 22,258 lần khi độ ngập tăng một cấp trong khi nếu độ mặn tăng một cấp thì xác suất thay đổi sử dụng đất giảm 0,862 lần. Kết quả đó cho thấy mức độ ảnh hưởng của mực nước biển dâng tác động mạnh nhất đến thay đổi sử dụng đất tại khu vực nghiên cứu.

3. Kết quả mô phỏng thay đổi sử dụng đất đến năm 2049 cho thấy diện tích đất lúa giảm mạnh tập trung nhiều nhất tại cánh đồng Ba Tri và diện tích manh mún phân bố xen cài trong khu vực nuôi trồng thủy sản và khu dân cư cũng được chuyển đổi sang đất dân cư và nuôi trồng thủy sản. Đất cây lâu năm và đất nuôi trồng thủy sản cũng giảm trong khi đất dân cư xây dựng, đất rừng và đất làm muối tăng và diện tích mặt nước không thay đổi nhiều ở các giai đoạn đầu, đến giai đoạn 2039 – 2049 diện tích có tăng nhẹ do mực nước biển tăng theo dự báo từ kịch bản biến đổi khí hậu. Ngoài ra kết quả mô phỏng diện tích ngập do triều tại Bến Tre ứng với các kịch bản BĐKH đến năm 2050 cho thấy diện tích ngập của tỉnh Bến Tre trong các kịch bản BĐKH và NBD có diện tích ngập không lớn. Vào năm 2025, nhiệt độ tăng khoảng 0,70C so với thời kỳ nền trên toàn tỉnh Bến Tre, đến năm 2030 nhiệt độ tăng từ 0,8-0,90C, phân bố nhiệt độ tăng dần theo hướng bắc nam, mức tăng cao nhất thuộc huyện Châu Thành và Tp. Bến Tre (0,90C); Đến năm 2050, phân bố nhiệt độ khá giống với năm 2030 nhiệt độ tăng dần theo hướng bắc nam với mức tăng từ 1,29-1,400C. Kết quả tính toán lan truyền mặn theo kịch bản biến đổi khí hậu RCP4.5 và RCP8.5 năm 2050 trên các sông Cửa Đại, Sông Hàm Luông và sông Cổ Chiên dao động từ 11,60/00 đến 22,80/00.
4. Từ các kết quả đạt được, Luận Án đã đề xuất các giải pháp giám sát thay đổi sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu bao gồm giải pháp về giám sát thực hiện quy hoạch, giải pháp cung cấp thông tin thay đổi sử dụng đất, giải pháp giám sát hạn hán và xâm nhập mặn, giải pháp chuyển đổi cơ cấu cây trồng nhằm đảm bảo phát triển bền vững. Xây dựng WebGIS để chia sẻ dữ liệu và kết quả đạt được trong giám sát và đánh giá thay đổi sử dụng đất do các yếu tố tác động của BĐKH đến các đơn vị liên quan, nhằm triển khai giải pháp cụ thể. Với khả năng tích hợp công nghệ GIS – GPS và RS có thể giám sát thay đổi sử dụng đất theo thời gian thực từ đó đề xuất cơ sở để nhà quản lý ra các quyết định phù hợp.



## **Kiến nghị**

Giải pháp ứng dụng GIS, RS và mô hình toán đã được phát triển trên cơ sở khoa học và minh chứng tính hiệu quả trong giám sát, phân tích xu thế và mô phỏng thay đổi sử dụng đất trong điều kiện biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre. Để phổ biến giải pháp, công bố kết quả đạt được, cũng như chuyển giao công nghệ,.. một số kiến nghị được đề xuất đến Bộ, Ngành, Địa phương và cơ quan liên quan trong quản lý và quy hoạch như sau:

- Kết hợp phần mềm mã nguồn mở tạo WebGIS cung cấp các công cụ hỗ trợ chia sẻ dữ liệu giữa các cơ quan sẽ nâng cao tính hiệu quả trong giám sát, phân tích xu thế và mô phỏng thay đổi sử dụng đất. Đồng thời, góp phần phổ biến nhanh thông tin đến cộng đồng về chính sách quản lý, nhằm nâng cao ý thức người dân góp phần hành động quản lý quy hoạch sử dụng đất bền vững trong bối cảnh BĐKH.
- Chính quyền địa phương các cấp và Sở ngành có liên quan nên sớm triển khai giải pháp và hoàn thiện công cụ hiệu quả trong giám sát, phân tích xu thế và mô phỏng thay đổi sử dụng đất. Trong đó, đầu tư thêm nguồn ảnh vệ tinh có độ phân giải cao, để nâng cao độ chính xác phân tích thay đổi sử dụng đất; Phát triển công cụ kết nối với thiết bị thông minh (smart phone, tablet,...) để giám sát và thu thập dữ liệu. Đặc biệt, thiết lập các trạm quan trắc tự động liên tục (online) cung cấp thông tin kịp thời biến tác động chủ yếu để hỗ trợ công tác quản lý, quy hoạch và phát triển bền vững.

## **DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN TIÊN SĨ ĐÃ ĐƯỢC CÔNG BỐ**

**Các công trình khoa học đã công bố: (tên công trình, năm công bố, nơi công bố...)**

1. Le Van Trung, Le Ngoc Lam, Dao Minh Tam, 2021. Web Gis and Remote Sensing Solutions for Monitoring and Thematic Mapping in the Mekong Delta Region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 652 (2021) 012023, doi:10.1088/1755-1315/652/1/012023.
2. Le Ngoc Lam, 2017. Land use/ land cover change (LULCC) detection under climate change: a case study in Ba Tri, Binh Dai and Thanh Phu district in Ben Tre province. The Journal of Agriculture and Development. ISSN: 1859-1523
3. Lê Ngọc Lãm, Trần Văn Thịnh, Lê Văn Trung, 2020. Ứng dụng ảnh Landsat 8 đánh giá xâm nhập mặn các huyện ven biển tỉnh Bến Tre. Tạp chí nông nghiệp và phát triển trường ĐH Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh. pISSN 2615-9503 eISSN 2615-949X.
4. Lê Ngọc Lãm, 2020. Ứng dụng GIS và Viễn thám đánh giá ảnh hưởng xâm nhập mặn đến thay đổi sử dụng đất các huyện ven biển tỉnh Bến Tre. Tạp chí Khoa học đất Việt Nam. ISSN: 2525-2216 (59) 2020.
5. Trần Văn Thịnh, Lê Ngọc Lãm, 2020. Đánh giá thích nghi đất đai phục vụ phát triển nông nghiệp tỉnh Bến Tre dưới tác động của biến đổi khí hậu. Tạp chí nông nghiệp và Phát triển nông thôn. ISSN 1859 – 4581 (11) 2020.
6. Lam N. Le, Trung V. Le, & Thinh V. Tran, 2021. Evaluation of drought on agricultural land-use change: A case study of coastal districts Ben Tre province. The Journal of Agriculture and Development Volume 20 - Issue 6 (2021), pISSN 2615-9503 eISSN 2615-949X.
7. Lam N. Le, 2020. Evaluation of drought using Landsat 8 OLI, A Case study of Coastal Districts, Ben Tre Province. The Third International Conference on Sustainable Agriculture and Environment Ho Chi Minh City, Vietnam November 18, 2020. ISBN 978-604-73-7775-6, (12-21).

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Abbas A and Khan S., 2007. Using Remote Sensing Techniques for Appraisal of Irrigated Soil Salinity. In: Oxley, L. and Kulasiri, D., Eds., *MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand*, December 2007, 2632-2638.
2. Alghaliya Alrubkhi., 2017. Land Use Change Analysis and Modeling Using Open Source (QGIS). PhD Dissertation, Sultan Qaboos University College Of Arts and Social Science, Department Of Geography.
3. A.Veldkamp and L.O. Fresco., 1996. CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecological Modelling*, Volume 91, Issues 1–3, Pages 231-248.
4. Banos A., A Drogoul, B Gaudou., N.Q Huynh., Q.C Truong and A.D Vo., 2015. Tools and models for understanding and exploring urban spatial dynamics. In: Lagrée S., A Glance at Sustainable Urban Development. *Methodological, Crosscutting and Operational Approaches, Collection Conférences et Séminaires*, n°13, AFD. pp. 173-200.
5. Castella J.C., T.N Trung, and S Boissau., 2005. Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam: The combined use of an agent-based model, a role-playing game, and a Geographic Information System. *Ecology and Society* 10(1). June 20<sup>th</sup> 2018 <URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art27/>>.
6. Coppin P., Jonckheere J., Nackaerts K and Muys B., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *INT. J. Remote Sensing*. 25(9) 1565–1596.
7. CEP., 2014. CLUMondo, mô hình chuyển đổi sử dụng đất. Truy cập ngày 10 tháng 4 năm 2018. <URL <http://www.gms-eoc.org/>>.
8. Dehni A., Lounis M., 2015. Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: Application to the Oran region of Algeria. *Procedia Eng.* Vol 33: 188–198.
9. Douaoui E.K., Nicolas H, and Walter C., 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *Geoderma*. Vol 134, No 1: 217–230.
10. Đặng Thị Bé Thơ., 2013. Tác động của biến đổi khí hậu đến sản xuất nông nghiệp tỉnh Bến Tre. Luận văn Thạc sĩ Địa lý học. *Đại học Sư phạm Tp.Hồ Chí Minh, Việt Nam*.
11. Ellis E., 2007. Land-use and land-cover change, encyclopedia of earth, June 20<sup>th</sup> 2018. <URL [http://ecotope.org/people/ellis/papers/ellis\\_eoe\\_lulcc\\_2007.pdf](http://ecotope.org/people/ellis/papers/ellis_eoe_lulcc_2007.pdf)>
12. Eastman J.R. TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System—Manual. 2<sup>nd</sup> Jan 2020. <URL: [www.clarklabs.org](http://www.clarklabs.org) (accessed on 2 January 2020)>.
13. FAO (Food and Agricultural Organization)., 1998. Africover Programme.
14. FAO (Food and Agricultural Organization)., 1997a, Fao/UNEP.

15. Foley J.A., Ruth D., Gregory P.A., Carol B., Gordon B., Stephen R.C, and Stuart C.F., 2005; *Global Consequences of Land Use, Science*. 309: 570-574.
16. Fung T and Le D.E., 1987. Application of principal components analysis to change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 28: 681 – 684.
17. Grignard A., P Taillandier., B Gaudou., D.A Vo., N.Q Huynh, and A Drogoul., 2013. GAMA 1.6: Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation, PRIMA, LNAI 8291: 117-131.
18. Gong J., Sui H., Ma G and Zhou Q., 2008. A review of multi-temporal remote sensing data change detection. *Photogramm. Remote Sens. Spat Inf Sci* 37(7): 757–762.
19. Guo L., Xi X., Yang W, and Liang L., 2021. Monitoring Land Use/Cover Change Using Remotely Sensed Data in Guangzhou of China. *Sustainability* 13.2944. 16<sup>th</sup> Aug 2022. <URL: <https://doi.org/10.3390/su13052944>>.
20. Hoàng Trọng., Chu Nguyễn Mộng Ngọc., 2008. Phân tích dữ liệu nghiên cứu với SPSS. Tập 2. *NXB Hồng Đức*.
21. Huỳnh Văn Chương., Châu Võ Trung Thông, và Huỳnh Công Hưng., 2017. Nghiên cứu và mô phỏng biến động sử dụng đất tại Tp. Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa ứng dụng trong chuỗi Markov và GIS. *Tạp Chí Khoa học Và công nghệ nông nghiệp Trường Đại học Nông Lâm Huế* 1(1): 37–46.
22. Ibrahim R.H and Mosbeh R.K., 2015. Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment* 4(1): 117-124.
23. Inzamul H.M and Rony B., 2017. Land cover change detection using GIS and remote sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Haor, Sunamganj, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 20(2): 251-263.
24. IPCC., 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability, Fourth Assessment Report. Working Group II report. UNEP.
25. Irwin E and Geoghegan J., 2001. Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture. Ecosystems and Environment* 85: 7–23.
26. Jepsen M.R., S Leisz., K Rasmussen., J Jakobsen., L Muller-Jensen and L Christiansen., 2006. Agent-based modelling of shifting cultivation field patterns, *Vietnam International Journal of Geographical Information Science*. Vol 20. No 9: 1067–1085.
27. Jokar A.J., 2012. Dynamic Land Use/Cover Change Simulation, Geosimulation and multiagent-based modelling. 1<sup>st</sup> Edition. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany*, XVI, 140 pages.
28. Khan N.M., Rastoskuev., V.V Shalina., E.V, and Sato Y., 2001. Mapping Salt-affected Soils Using Remote Sensing Indicators - A Simple Approach With the Use of GIS IDRISI. *Ratio*. No November: 5–9.

29. Kulp, S.A and Strauss, B.H., 2019. "New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding". *Nature Communications* 10, 4844. <URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12808-z>>
30. Lambin E and Strahlers A.H., 1994. Change-vector analysis in multitemporal space: A tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment* 48(2): 231-244.
31. Lê Đức Hạnh., Vũ Thị Thu Lan., Hoàng Thanh Sơn, và Vũ Phan Long., 2013. Ứng dụng công nghệ Viễn thám tích hợp hệ thống thông tin địa lý (GIS) thành lập bản đồ biến động sử dụng đất tỉnh Nam Định. *Tạp chí Khoa Học Trái Đất* 2(T35): 181 - 186.
32. Lê Ngọc Lãm., 2008. Ứng dụng ảnh vệ tinh Landsat 5 đánh giá biến động lớp phủ mặt đất vùng Đông Nam Bộ giai đoạn 1995 – 2005. *Tạp chí khoa học nông nghiệp, Trường ĐH Nông Lâm Tp.HCM.*
33. Lê Ngọc Lãm., 2016. Đánh giá thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2005-2015 khu vực chịu tác động của biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre địa bàn nghiên cứu: Huyện Ba Tri, Bình Đại và Thạnh Phú - *Kỷ yếu Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc 2016 - NXB Đại Học Huế*, ISBN: 978-604-912-659-8.
34. Li X., Wang Y., Li J, and Lei B., 2016. Physical and Socioeconomic Driving Forces of Land-Use and Land-Cover Changes: A Case Study of Wuhan City, China. *Discrete Dyn Nat Soc*. Volume 2016. Article ID 8061069. Jun 15<sup>th</sup> 2019. <URL: <https://doi.org/10.1155/2016/8061069>>.
35. Lobell D.B., 2007. Identification of Saline Soils with Multiyear Remote Sensing of Crop Yields. *Soil Science Society of America Journal* 71: 777-783.
36. MFF (Mangroves for the Future). Assessment of land use changes using SPOT5 multi-time remote sensing images in project areas of Ben Tre and Tra Vinh provinces., 2014. June 11<sup>th</sup> 2019. <URL: <https://www.mangrovesforthefuture.org/>>.
37. Mishra V.N., Rai P.K., 2016. A remote sensing aided multi-layer perceptron-Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar), India. *Arab. J. Geosci* 9: 1–18.
38. Mohanty S., 2007. Population Growth and Change in land use in India. *IIPS Mumbai ENVIS Center* 4: 2-3.
39. Moghadam S and Helbich M., 2013. Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model. *Applied Geography* 40: 140-149.
40. Muller D., 2004. From Agriculture expansion to intensification: Rural development and determinants of land use change in the Central Highlands of Vietnam. *Deutsche Gesellschaft fur Press, Eschborn, Germany*, 72 pages.
41. Muller D and Munroe D., 2007. Issues in spatially explicit statistical land use/cover change (LUCC) models: Examples from western Honduras and the Central Highlands of Vietnam. *Land use Policy* 24: 521-530.

42. Nguyen Dinh Duong., 2006. Study land cover change in Vietnam in period 2001-2003 using MODIS 32days composite. Nov 24<sup>th</sup> 2018. <URL: [www.geoinfo.com.vn](http://www.geoinfo.com.vn)>.
43. Nguyễn Thái Nam., 2016, Ứng dụng mô hình CLUMondo trong việc mô phỏng kịch bản chuyển đổi mục đích sử dụng đất cho tỉnh Phú Yên đến năm 2020 trước bối cảnh của biến đổi khí hậu. Luận văn tốt nghiệp, *ĐH Tài nguyên & Môi trường Tp. Hồ Chí Minh. Việt Nam.*
44. Nguyễn Thị Thu Hiền., 2015. Nghiên cứu biến động và đề xuất các giải pháp quản lý sử dụng đất hợp lý huyện Tiên Yên, tỉnh Quảng Ninh. Luận án Tiến sĩ. *Học viện Nông nghiệp Việt Nam.*
45. Nguyễn Thị Thúy Hạnh., 2015. Nghiên cứu biến động lớp phủ trong quá trình phát triển kinh tế - xã hội tỉnh Hòa Bình với sự trợ giúp của công nghệ viễn thám và GIS. Luận án Tiến sĩ. *Đại học Khoa học tự nhiên – ĐHQGHN, Hà Nội, Việt Nam.*
46. Nguyễn Xuân Hiền., Trần Thục và Đinh Văn Ưu., 2012. Nghiên cứu, tính toán nước dâng tổng cộng trong bão cho khu vực ven biển Thành phố Hải Phòng. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* 28(3): 63-70.
47. Nguyễn Xuân Hiền., 2013. Nghiên cứu nước dâng do bão có tính đến ảnh hưởng của sóng và áp dụng cho vùng ven biển Hải Phòng, Luận án Tiến sĩ. *Viện khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Việt Nam.*
48. Noortje M., Benu., Maryunani., Sugiyanto, and Paulus Kindangen., 2013. An analysis of land conversion and its impacts and strategies in managing Them in city of Tomohon, Indonesia. *Asian Transactions on Basic and Applied Sciences* Volume 03 Issue 02.
49. Nyatuame M and Agodzo S. 2017. Analysis of extreme rainfall events (drought and flood) over Tordzie Watershed in the Volta Region of Ghana. *J Geoscience Environ Prot* 5 (9): 275–295. doi:10.4236/gep.2017.59019.
50. Parker D.C., T Berger and S.M Manson., 2001. Agent-Based Models Of Land-Use and Land-Cover Change. *Proceedings of an International Workshop October 4–7, 2001, Irvine, California, USA.*
51. Patrick Taillandier., 2014. GAMAGRAM: Graphical modeling with the GAMA platform. In *Proceedings of ICCSA 2014. Normandie University, Le Havre, France - June 23-26, 2014.*
52. Phạm Vũ Chung., 2017. Nghiên cứu đánh giá biến động sử dụng đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại tỉnh Hà Tĩnh. Luận án tiến sĩ Địa lý tài nguyên và môi trường. *Học Viện Khoa học và Công nghệ. Hà Nội, Việt Nam.*
53. Phạm Thị Lợi và Đào Nguyên Khôi., 2021. Mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất lưu vực Sông Bé bằng mô hình CLUE-s. *Tạp chí Khí tượng Thủy Văn* 2021 Số 724: 82-93. doi:10.36335/VNJHM.2021(724).82-93.
54. Phạm Văn Huân và Nguyễn Tài Hợi., 2017. Dao động mực nước biển ven bờ Việt Nam. *Trung tâm Khí tượng Thủy văn biển.* Truy cập ngày 20/6/2021. <URL: <https://voer.edu.vn/m/dao-dong-muc-nuoc-bien-ven-bo-viet-nam/4b322d86>>.

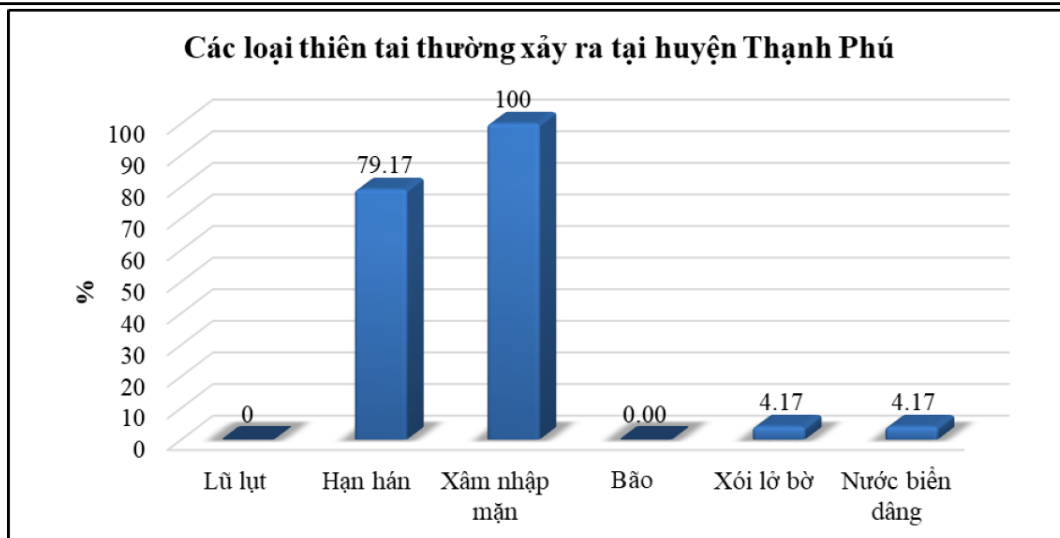
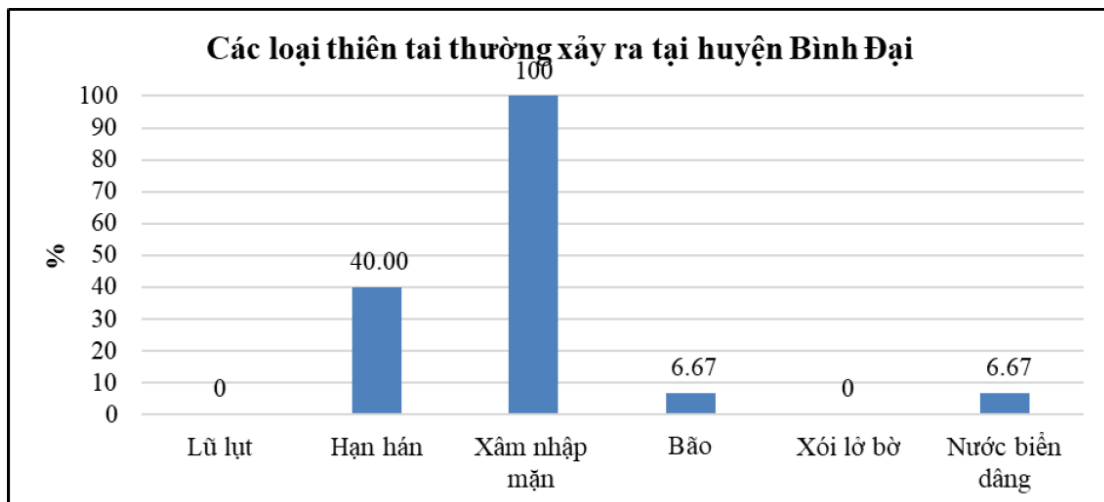
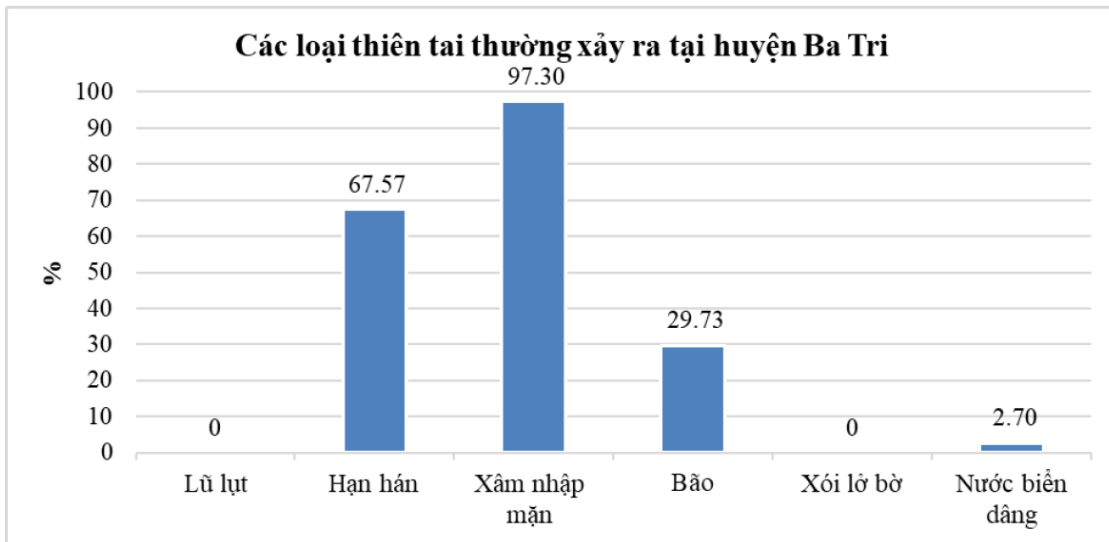
55. Pontius R.G., D Huffaker and K Denman., 2004. Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modeling*. Volume 179, Issue 4, 1: 445-461.
56. Pouliot D., Latifovic R., Fernandes R and Olthof I., 2009. Evaluation of annual forest disturbance monitoring using decision trees and MODIS 250m data. *Remote Sensing of Environment* 38: 2017-2032.
57. Qihao Weng., 2001. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *J Environ Manage* 64(3): 273-284.
58. Qihao., 2010. Remote Sensing and GIS Integration Theories, Methods and Applications. *McGraw-Hill eBooks*. ISBN: 978-0-07-160654-7. New York. 433 pages.
59. Qiong Wu a b., Hong-qing Li b., Ru-song Wang a., Juergen Paulussen a., Yong He c., Min Wang a., Bi-hui Wang c and Zhen Wang a., 2006. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*. Volume 78, Issue 4: 322-333.
60. Samuel N.A.C., 2010. Integrating Remote Sensing, GIS, Census, and Socioeconomic Data in Studying the Population–Land Use/Cover Nexus in Ghana: A Literature Update. *Africa development. Afrique et développement* 32(2).
61. Sandy Elliotta., Graham McBridea., Ude Shankara., Annette Semandi-Daviesa., John Quinna., David Wheelerb., Liz Wedderburnb., Bruce Smallb., Allan Hewittc., Robert Gibbc., Roger Parfittc., Brent Iothierd., Steve Greend., Simon Harrise and Gerald Rysf., 2008. CLUES Spatial DSS: From Farm-Scale Leaching Models to Regional Decision Support. *International Congress on Environmental Modelling and Software Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making*.
62. Shafter G and Logan R., 1987. Implementing Dempster's rule for hierarchical evidence. *Artificial Intelligence* 33: 271-298.
63. Suzanchi K and Kaur R., 2011, Land use land cover change in National Capital Region of India a remote sensing and GIS based two decadal spatial temporal analyses. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 21: 212-221.
64. Suming Jin and Limin Yang., 2013. A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to Circa 2011. *Remote Sensing of Environment* 132: 159–175.
65. Thái Thành Dur., Võ Quang Minh và Nguyễn Thị Hà Mi., 2016. Đánh giá biến động hiện trạng sử dụng đất lúa dưới tác động của biến đổi khí hậu ở tỉnh Hậu Giang. *Kỹ yếu Hội nghị khoa học Quản lý đất đai vùng đồng bằng sông Cửu Long*. NXB Đại học Cần Thơ 2016: 121-131.
66. Trần Quốc Đạt., Nguyễn Hiếu Trung và Kanchit Likitdecharote., 2012. Mô phỏng xâm nhập mặn Đồng bằng sông Cửu Long dưới tác động của mực nước biển dâng và sự suy

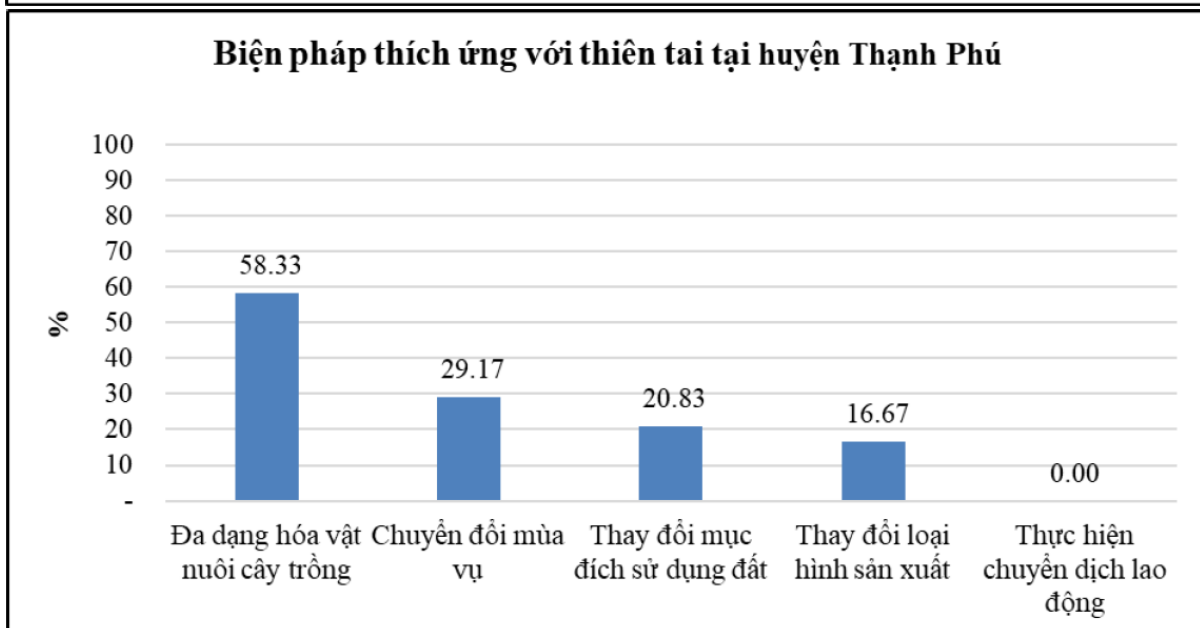
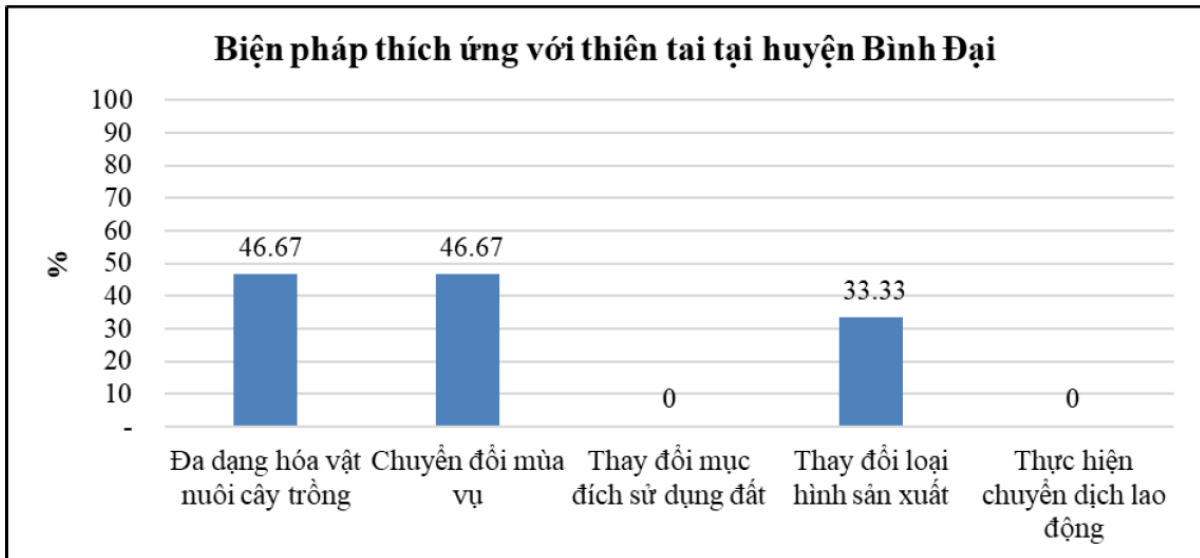
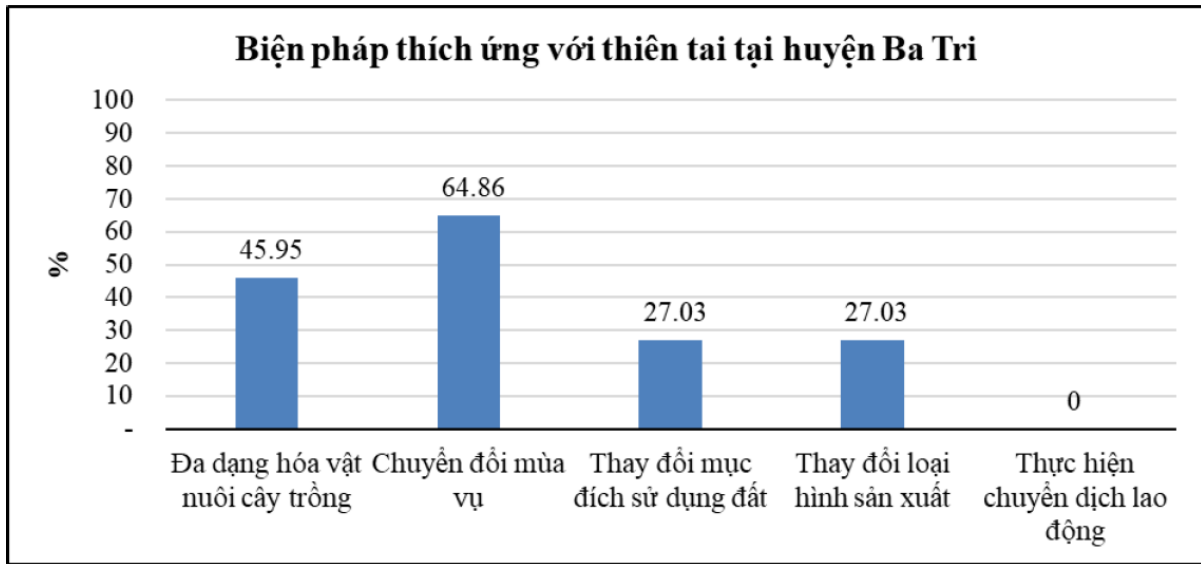
- giảm lưu lượng ở thượng nguồn. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ* 2b: 141-150.
67. Trần Thực., 2015. Cập nhật xu thế thay đổi của mực nước biển khu vực biển Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 657: 25-31.
  68. Trần Thị Vân., Nguyễn Ngân Hà., Hà Quốc Việt., Nguyễn Đình Hoàng Long và Hà Dương Xuân Bảo., 2019. Phương pháp đánh giá hạn hán cho một vùng lãnh thổ theo quan hệ nhiệt độ bề mặt và thực vật từ dữ liệu viễn thám. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ – Kỹ thuật và Công nghệ* 2(4): 306-315.
  69. Treuil J.P., A Drogoul and J.D Zucker., 2008. *Modélisation et simulation a base d'agents*. Dunod. Dunod.
  70. Trịnh Lê Hùng., Nguyễn thị Thu Nga., Vũ Danh Tuyên và Bùi Thu Phương., 2017. Đánh giá và mô phỏng biến động đất đô thị khu vực nội thành thành phố Hà Nội bằng tư liệu viễn thám và GIS. *Tạp chí Khoa học, trường ĐH Sư Phạm Tp. Hồ Chí Minh*. ISSN: 1859-3100. Tập 14, Số 3 (2017): 176-187.
  71. Trương Chí Quang., N.T Hiếu., V.Q Minh và Alexis Drogoul., 2014. Mô hình thay đổi sử dụng đất vùng đồng bằng sông Cửu Long, *Kỹ yếu Hội thảo GIS Toàn Quốc 2014*, ĐH Cần Thơ. Năm 2014.
  72. Turner B.L., Lambin E.F and Anette R., 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104 (52) 20666-20671.
  73. Valbuena D., Verburg P.H., Bregt A and Arend L., 2010. An agent-based approach to model land-use change at a regional scale. *Landscape Ecology* 25(2):185–199.
  74. Verburg P and Veldkamp A., 2001. The role of spatially explicit models in land-use change research: a case study for cropping patterns in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85: 177-190.
  75. Yu Wanhui., Shuying Zang., Changshan Wu., Wen Liu and Xiaodong Na., 2011. Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China. *Applied Geography* 31(2): 600-608. DOI:10.1016/j.apgeog.2010.11.019.
  76. White R and Engelen G., 2000. High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Computers Environment and Urban Systems*, 24: 383-400.
  77. Wu F and Webster C.J., 1998. Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environ. Plann* 25: 103-126.



## PHỤ LỤC

### Phụ lục 1: Các dạng thiên tai và biện pháp thích ứng của Tỉnh Bến Tre





(Nguồn: Kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Bến Tre năm 2020)

## **Phụ lục 2: Một số tác động của BĐKH đến tài nguyên đất**

Khí hậu là một trong những yếu tố quan trọng có ảnh hưởng trực tiếp đến đất đai thông qua lượng mưa và nhiệt; ảnh hưởng gián tiếp thông qua sinh vật. BĐKH làm cho chế độ mưa thay đổi, nhiệt độ tăng cao và nắng nóng nhiều hơn,... làm lượng dinh dưỡng trong đất thất thoát cao hơn, hiện tượng xói mòn và khô hạn ngày một tăng cường... Sự gia tăng mực nước biển, thiên tai, bão lũ sẽ làm tăng hiện tượng nhiễm mặn, ngập úng, sạt lở bờ sông, ... dẫn đến ảnh hưởng nghiêm trọng tới tài nguyên đất.

### **Xâm nhập mặn:**

Tỉnh Bến Tre là một tỉnh cuối nguồn sông Cửu Long, tiếp giáp biển Đông, cuối nguồn nước ngọt và đầu nguồn nước mặn, hàng năm tỉnh Bến Tre thường bị nhiễm mặn từ tháng 3 – 6. Mức độ xâm nhập mặn ở tỉnh Bến Tre chủ yếu diễn ra vào mùa khô trong năm và chịu tác động đồng thời của các yếu tố dòng chảy cạn kiệt trên sông Tiền, sự xuất hiện của gió chướng và thủy triều biển Đông ở mức cao vào những ngày mùa khô.

### **Tác động do ngập:**

Những năm gần đây hiện tượng nước biển dâng trong mùa mưa bão đã gây thiệt hại rất nghiêm trọng, gây ngập úng trên các vườn cây ăn trái, hoa màu, ruộng lúa, đất nuôi trồng thủy sản,... làm giảm năng suất cây trồng, ảnh hưởng lớn đến việc bố trí mùa vụ và cơ cấu sử dụng đất của các huyện ven biển nói riêng và toàn tỉnh nói chung. Nước biển dâng là do triều cường, mực nước đỉnh triều cao nhất hàng ngày trên các sông rạch lên cao kết hợp với nước lũ thượng nguồn đổ về hoặc kết hợp với bão, áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng trực tiếp đến các huyện ven biển nói riêng và toàn tỉnh nói chung.

**Bảng 1: Dự báo diện tích ngập tỉnh Bến Tre đến năm 2050**

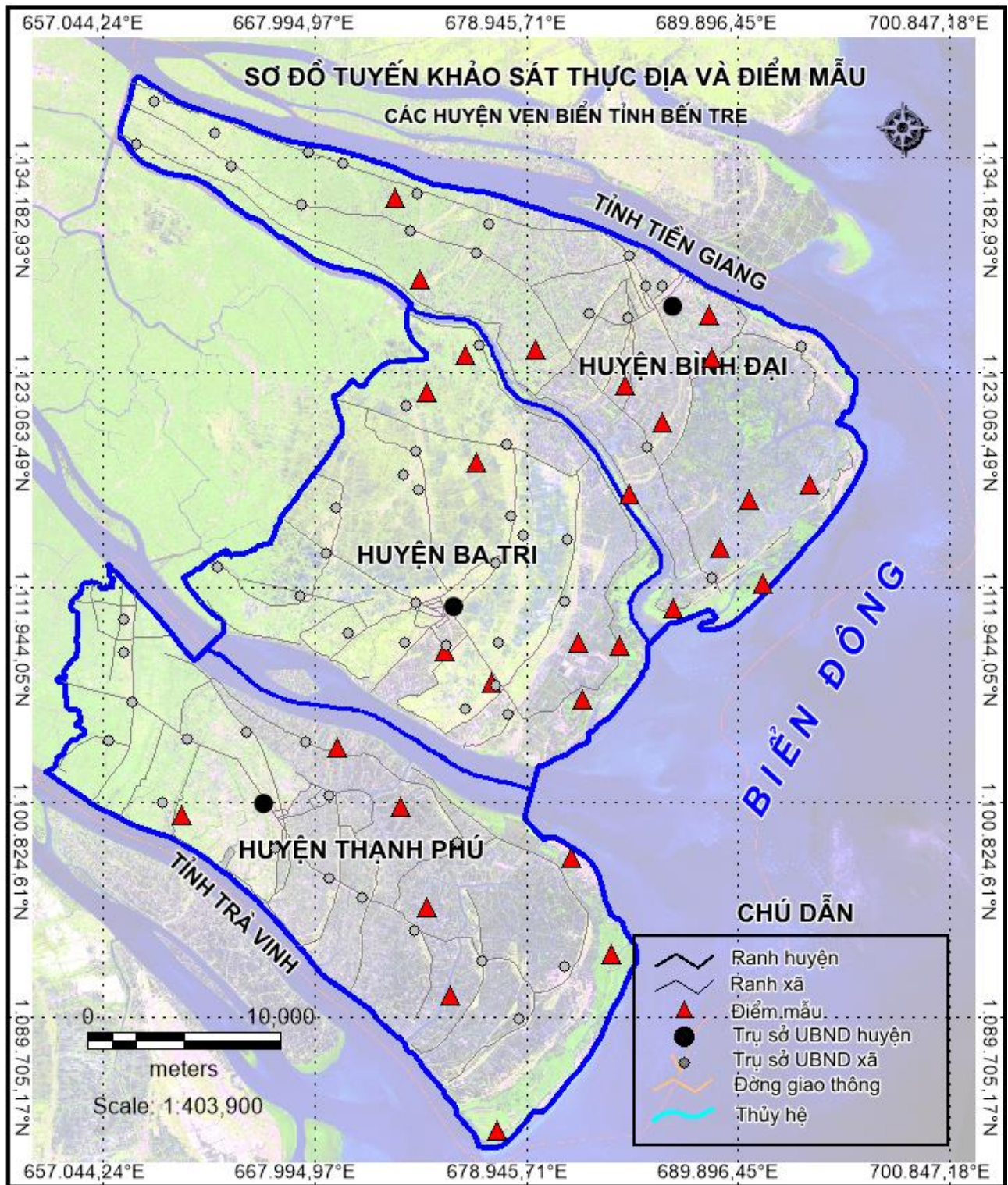
Tên loại đất	Chỉ tiêu	Diện tích ngập				
		Hiện trạng	2025 (RCP4.5 và 8.5)	2030(RCP4.5 và 8.5)	2050_RC P4.5	2050_RC P8.5
	<b>Tổng ngập</b>	<b>17290.9</b>	<b>18196.42</b>	<b>21879.02</b>	<b>23500.46</b>	<b>26579.49</b>
Cây lâu năm	CLN	3673.84	3970.63	5061.00	5536.15	6361.27
An ninh quốc phòng	ANQP	80.42	82.53	89.07	91.50	94.89
Cây hàng năm khác	CHNK	136.66	147.77	179.83	189.11	206.92
Lúa	LUC	405.39	451.63	948.08	1361.06	2367.21
Đất sản xuất kinh doanh	SXKD	10.71	15.56	22.46	24.68	27.07
Đất rừng đặc dụng	RDD	67.95	78.52	114.01	132.10	183.22
Đất làm muối	MUO	26.33	33.66	58.45	66.39	78.13
Đất NTTS	NTTS	1441.60	1547.69	1837.92	1949.08	2166.68
Đất rừng sản xuất	RSX	8.49	12.24	43.70	60.57	93.49
Đất ở đô thị	ODT	6.07	6.21	6.84	8.47	10.30
Đất rừng phòng hộ	RPH	454.44	491.20	624.63	677.58	748.20

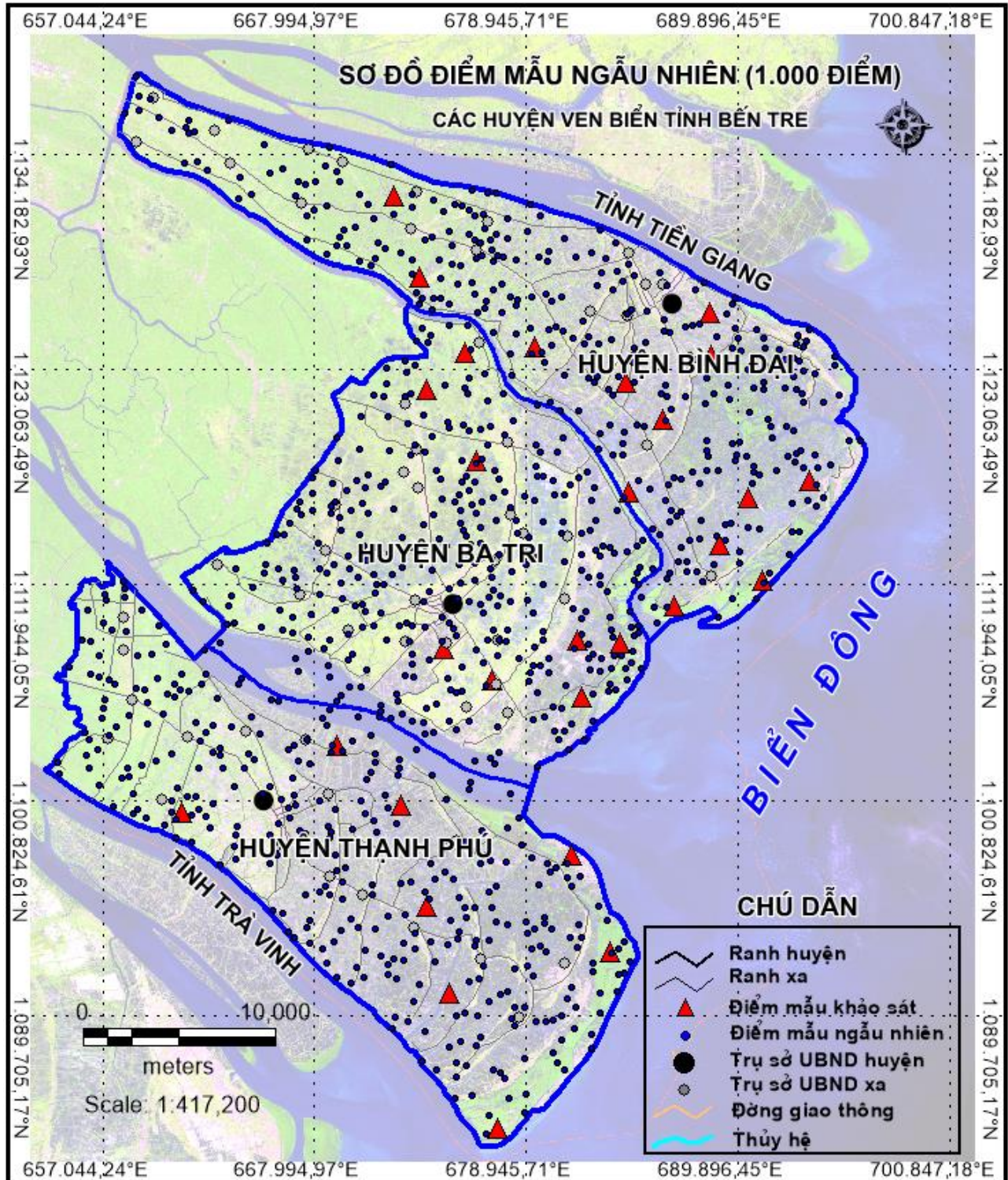
(Nguồn: Kịch bản BĐKH tỉnh Bến Tre năm 2020)

**Phụ lục 3: Minh họa tuyến khảo sát thực địa và vị trí lấy mẫu được sử dụng trong tính toán**

STT	Tên tuyến	Kinh độ	Vĩ độ	Huyện	Xã	Mô tả điểm thực địa
<b>I</b>	<b>BT</b>					
1	BT1	106.6765	10.0279	Ba Tri	Xã Bảo Thuận	Cây hàng năng khác trồng trên đất mặn nhiều Gley
2	BT2	106.6568	10.0292	Ba Tri	Xã Bảo Thuận	Nuôi tôm trên đất mặn nhiều Gley
3	BT3	106.5859	10.1466	Ba Tri	Xã Mỹ Hòa	Lúa trồng trên đất phèn hoạt động nông mặn
4	BT4	106.6046	10.1641	Ba Tri	Xã Tân Mỹ	Lúa trồng trên đất phù sa phân hóa yếu trung tính ít chua
5	BT5	106.6163	10.0108	Ba Tri	Xã Tân Thủy	Cây hàng năm khác trồng trên đất mặn trung bình và trên đất cát
6	BT6	106.6588	10.0025	Ba Tri	Xã Tân Thủy	Rừng phòng hộ trồng trên đất mặn nhiều Gley
7	BT7	106.6093	10.1134	Ba Tri	Xã Tân Xuân	Lúa trồng trên đất cát đóm loang lỗ chua, gley nông
8	BT8	106.5938	10.0259	Ba Tri	Xã Vĩnh An	Cây hàng năm khác trồng trên đất mặn trung bình
<b>II</b>	<b>BĐ</b>					
9	BĐ1	106.7197	10.1820	Bình Đại	Xã Bình Thắng	Nuôi tôm trên đất mặn trung bình và ít có đóm ri
10	BĐ2	106.6799	10.1497	Bình Đại	Xã Đại Hòa Lộc	Nuôi tôm trên đất mặn trung bình và ít điển hình
11	BĐ3	106.5832	10.1992	Bình Đại	Xã Phú Long	Cây lâu năm trồng trên đất phèn hoạt động nông mặn
12	BĐ4	106.5713	10.2373	Bình Đại	Xã Phú Vang	Cây lâu năm trồng trên đất phèn hoạt động sâu mặn
13	BĐ5	106.6812	10.0984	Bình Đại	Xã Thạnh Phước	Làm muối trên đất mặn nhiều điển hình
14	BĐ6	106.7207	10.1622	Bình Đại	Xã Thạnh Phước	Rừng trồng sản xuất trên đất mặn trung bình và ít có đóm ri
15	BĐ7	106.6976	10.1319	Bình Đại	Xã Thạnh Phước	Trồng lúa trên đất mặn trung bình và ít trên nền cát
16	BĐ8	106.6375	10.1661	Bình Đại	Xã Thạnh Tĩ	Nuôi tôm trên đất phèn hoạt động sâu mặn
17	BĐ9	106.7241	10.0732	Bình Đại	Xã Thới Thuận	Làm muối trên đất mặn sú vẹt được đã chuyển hóa
18	BĐ10	106.7379	10.0954	Bình Đại	Xã Thới Thuận	Nuôi tôm trên đất mặn sú vẹt được ổn định
19	BĐ11	106.7668	10.1029	Bình Đại	Xã Thới Thuận	Làm muối trên đất mặn sú vẹt được chưa ổn định
20	BĐ12	106.7023	10.0451	Bình Đại	Xã Thới Thuận	Rừng phòng hộ trên đất mặn sú vẹt được đã chuyển hóa
21	BĐ13	106.7442	10.0566	Bình Đại	Xã Thới Thuận	Nuôi tôm trên đất mặn sú vẹt được chưa ổn định
<b>III</b>	<b>TP</b>					
22	TP1	106.5729	9.9528	Thạnh Phú	Xã An Đin	Trồng lúa trên đất mặn trung bình và ít gley
23	TP2	106.5850	9.9055	Thạnh Phú	Xã An Nhơn	Nuôi tôm trên đất mặn nhiều trên nền cát
24	TP3	106.5958	9.8647	Thạnh Phú	Xã Giao Thạnh	Trồng lúa trên đất mặn nhiều điển hình

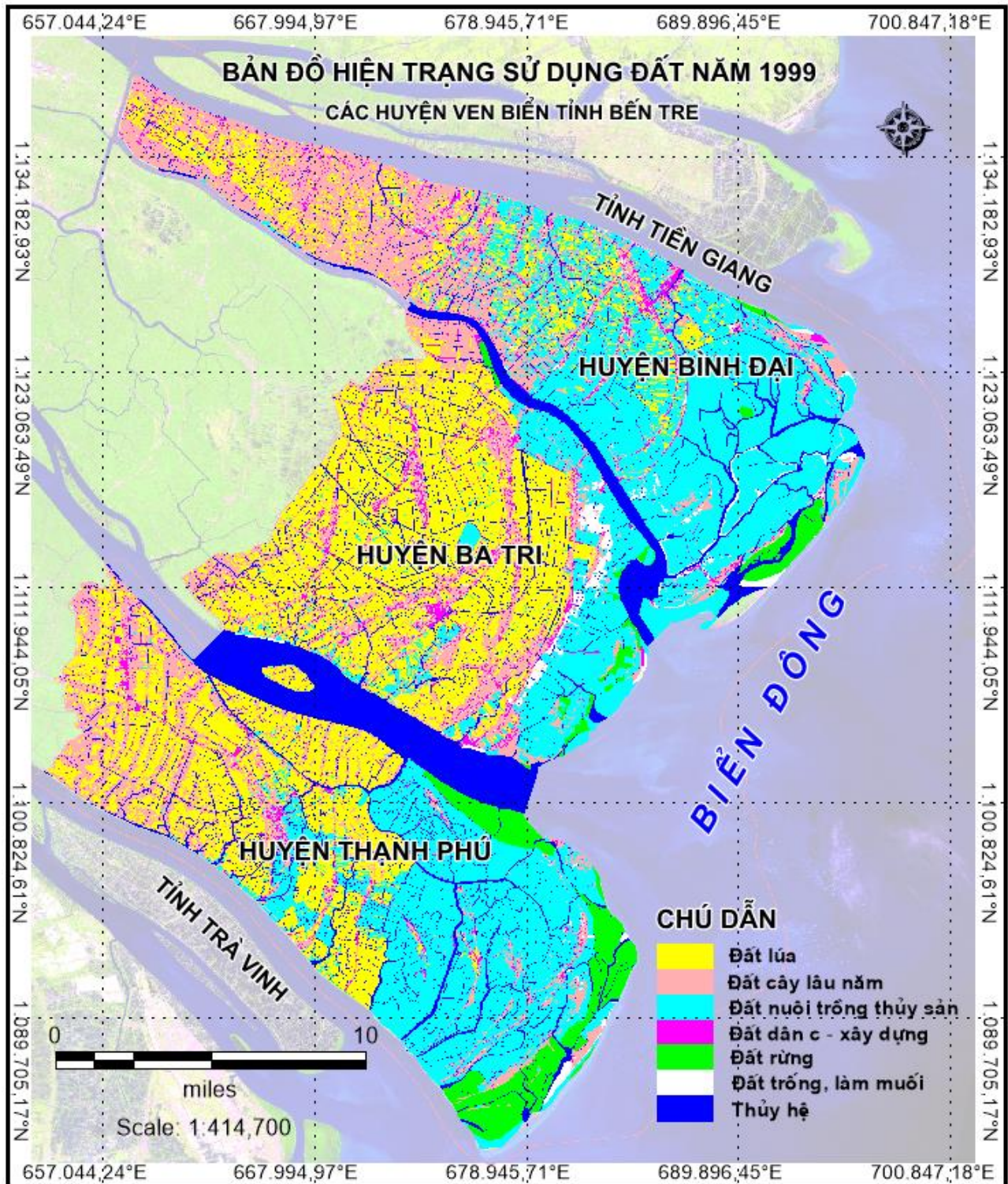
<b>STT</b>	<b>Tên tuyến</b>	<b>Kinh độ</b>	<b>Vĩ độ</b>	<b>Huyện</b>	<b>Xã</b>	<b>Mô tả điểm thực địa</b>
25	TP4	106.4698	9.9494	Thạnh Phú	Xã Hòa Lợi	Cây lâu năm trồng trên đất phèn hoạt động sâu trên nền phèn tiềm tàng
26	TP5	106.5431	9.9809	Thạnh Phú	Xã Mỹ An	Cây lâu năm trồng trên đất mặn nhiều gley
27	TP6	106.6536	9.9287	Thạnh Phú	Xã Thạnh Hải	Cây hàng năm khác trên đất mặn sú vẹt được đã chuyển hóa
28	TP7	106.6717	9.8834	Thạnh Phú	Xã Thạnh Hải	Rừng đặc dụng trên đất mặn sú vẹt được chưa ổn định
29	TP8	106.6179	9.8014	Thạnh Phú	Xã Thạnh Phong	Đất chưa sử dụng trên đất mặn sú vẹt được chưa ổn định

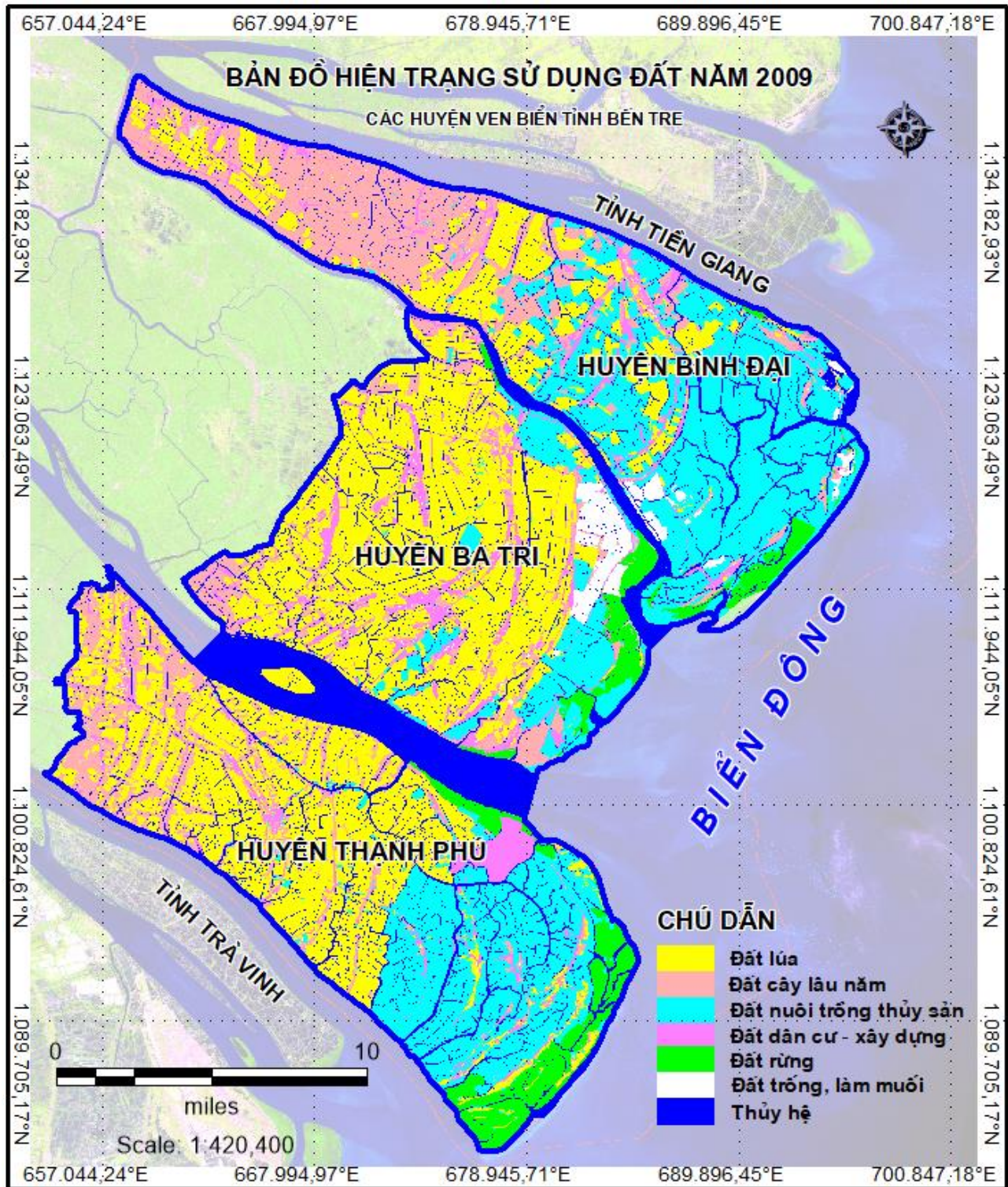


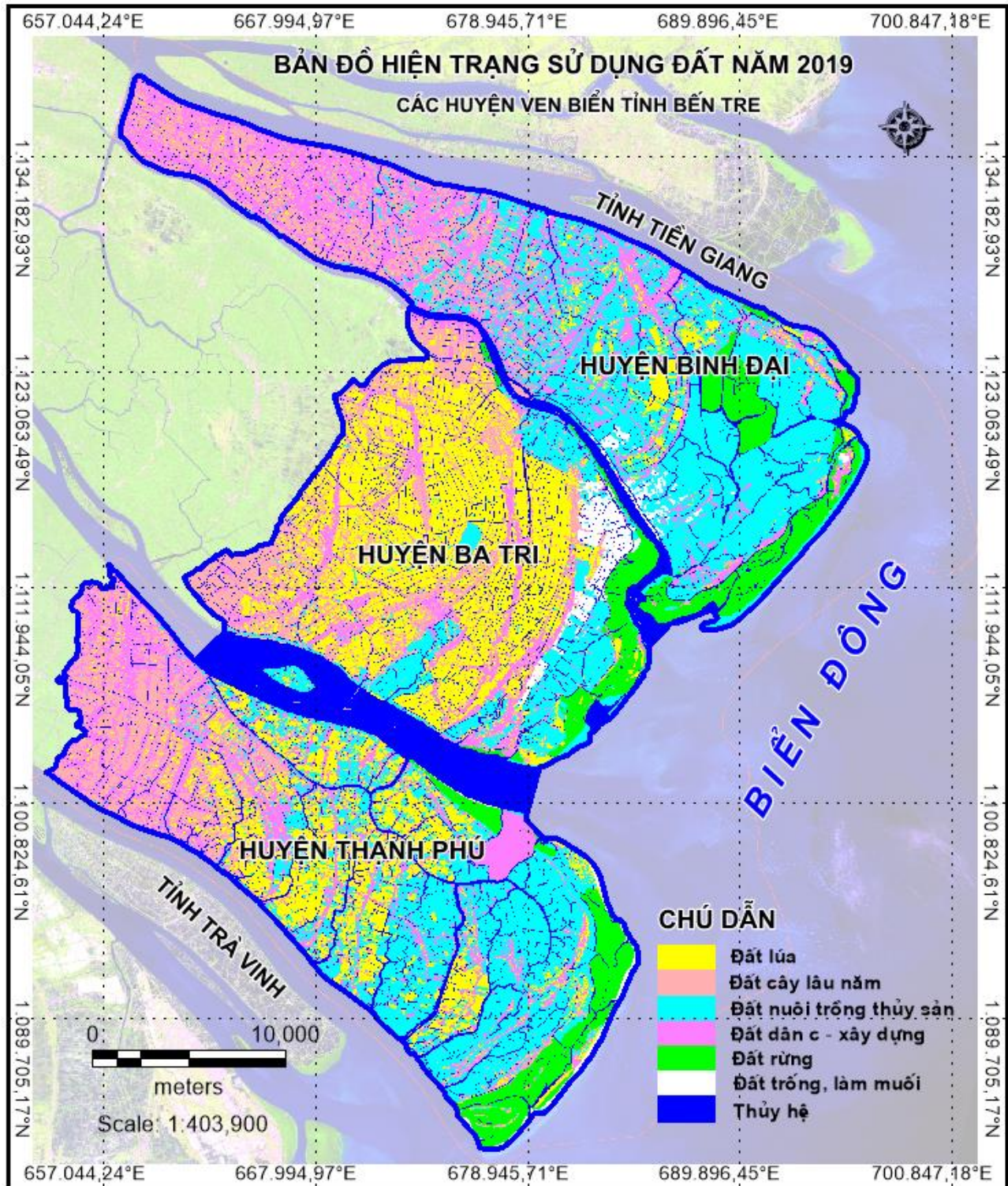




**Phụ lục 4: Bản đồ hiện trạng sử dụng đất giai đoạn (1999 – 2019)**



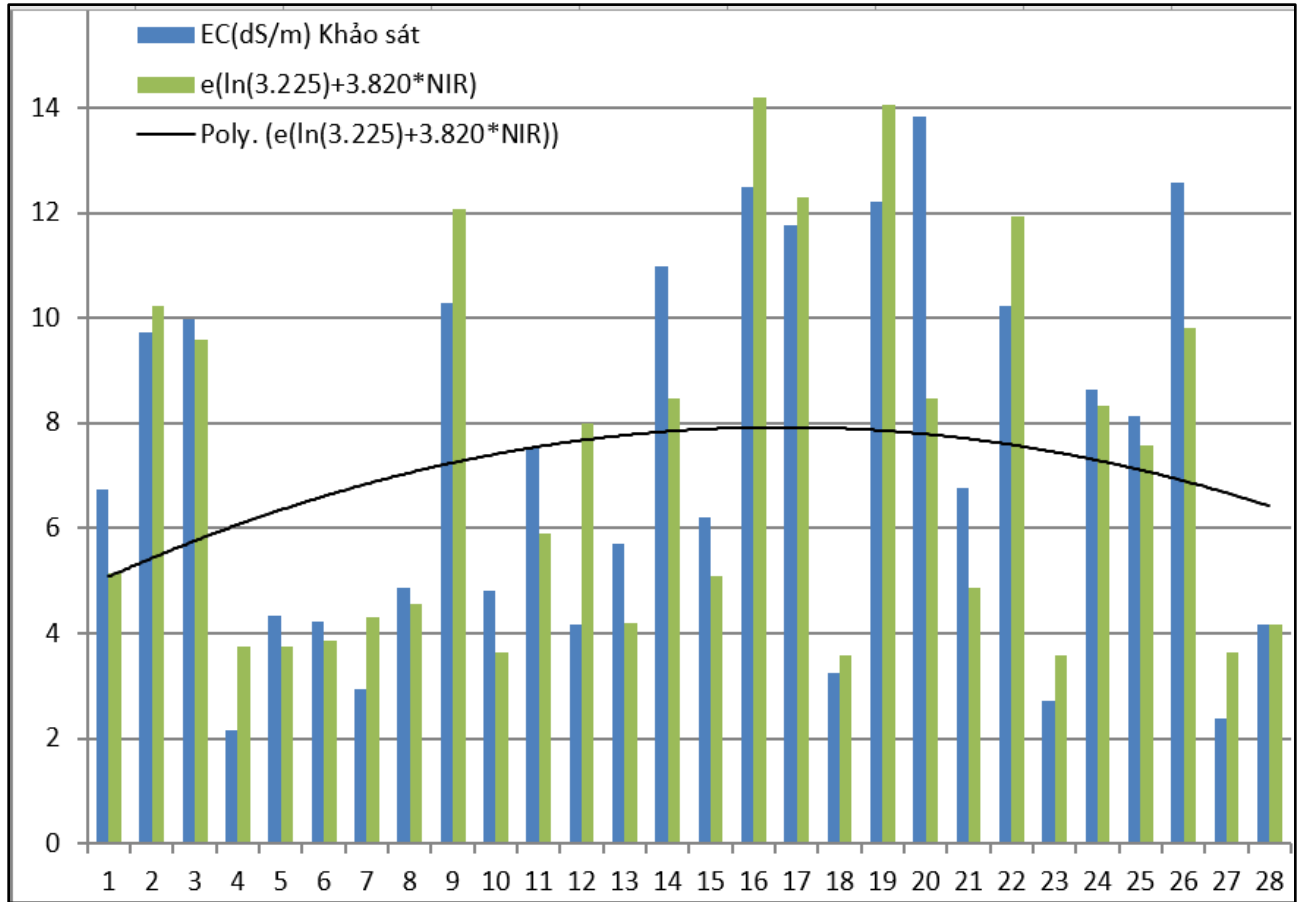




**Phụ lục 5: Kết quả mô phỏng lan truyền mặn bằng phương pháp viễn thám**

STT	TỌA ĐỘ X	TỌA ĐỘ Y	Giá trị EC(dS/m) Khảo sát	Giá trị EC mô phỏng 2.837- 4.224*NDSI- 2.119*SAVI- 6.326*VSSI- 22.736*SI4	Giá trị EC mô phỏng $e(\ln(3.225)+3.820*NIR)$
1	677445	1083885	6.73	6.33	5.16
2	683295	1092975	9.72	10.26	10.23
3	681285	1097985	9.98	8.38	9.59
4	674985	1090875	2.15	3.39	3.74
5	673785	1095375	4.35	3.65	3.76
6	672405	1100625	4.22	3.75	3.86
7	669135	1103715	2.94	4.98	4.31
8	661125	1100175	4.86	5.43	4.55
9	681795	1106145	10.27	11.51	12.07
10	683745	1108965	4.82	2.97	3.63
11	681585	1109115	7.55	7.15	5.89
12	677115	1107045	4.18	7.57	8.00
13	674685	1108695	5.7	4.77	4.20
14	676335	1118385	10.97	9.75	8.48
15	673755	1122045	6.2	6.45	5.09
16	675795	1123995	12.48	11.25	14.20
17	686565	1110885	11.75	11.13	12.30
18	688935	1114005	3.26	2.83	3.58
19	691155	1112175	12.2	12.10	14.06
20	690435	1116465	13.82	9.49	8.48
21	693585	1117335	6.76	5.62	4.88
22	684225	1116765	10.24	11.07	11.94
23	685995	1120485	2.73	2.66	3.60
24	684045	1122435	8.64	8.38	8.34
25	688515	1123845	8.13	8.24	7.59
26	688395	1126035	12.58	9.25	9.80
27	679395	1124235	2.37	3.16	3.63
28	673425	1127865	4.16	5.06	4.16

## Đồ thị phân bố kết quả mô phỏng lan truyền mặn bằng phương pháp viễn thám



**Điểm mẫu thống kê tương quan Ts và NDVI**

STT	NDVI	Ts (°C)	Tọa độ X	Tọa độ Y
1	0,012698	26	10,04541993	106,58791323
2	0,015490	26	10,06465538	106,64794418
3	0,108134	25	10,06848790	106,64084782
4	0,187923	25	10,12741282	106,62718597
5	0,378401	24	10,17415440	106,66328662
6	0,209647	24	10,12256815	106,77716169
7	0,295065	24	10,13408464	106,70222374
8	0,146116	25	10,13247010	106,69975164
9	0,011044	26	9,94620885	106,51602370
10	0,015505	27	10,20414877	106,68507205
11	0,081612	26	10,18648297	106,69209746
12	0,000000	28	10,06594715	106,66081375
13	0,005450	28	10,11695572	106,54583453
14	0,034468	27	10,11804066	106,54583972
15	0,004702	28	10,17420031	106,75828356
16	0,041135	27	9,92482234	106,62289260
17	0,010326	27	9,94730497	106,51356636
18	0,000000	29	10,29905510	106,40565427
19	0,000000	29	10,29741331	106,40893390
20	0,309241	23	10,07843080	106,60449652
21	0,306919	23	10,14735086	106,54242124
22	0,353639	23	10,09868892	106,44693120
23	0,333249	23	9,95201447	106,49169967
24	0,305344	23	9,93020439	106,63167339

<b>STT</b>	<b>NDVI</b>	<b>Ts (°C)</b>	<b>Tọa độ X</b>	<b>Tọa độ Y</b>
25	0,462916	22	10,06474892	106,51493151
26	0,500112	22	9,92119407	106,58758466
27	0,471415	22	9,94793234	106,61151590
28	0,430648	22	10,14771842	106,74007211
29	0,495750	21	10,15053016	106,72119904
30	0,564735	21	10,17524024	106,55268511
31	0,527205	21	10,23434703	106,76984000
32	0,504787	21	10,20766861	106,73793287

**Phụ lục 6: Một số hình ảnh về tác động của hạn hán**



**Hình 6.1. Cảnh đồng lúa bị khô hạn tại huyện Ba Tri**





**Hình 6.2. Cánh đồng lúa bị khô hạn tại huyện Thạnh Phú**



**Hình 6.3 Cánh đồng lúa bị khô hạn tại huyện Bình Đại**



**Hình 6.4: Vườn dừa bị khô hạn tại huyện Ba Tri**



**Hình 6.5: Vườn dừa bị khô hạn tại huyện Bình Đại**