

**BỘ GIÁO DỤC VÀ  
ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**

---



**NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN VÀ PHÂN VÙNG NHIỄM MẶN  
TỈNH BẾN TRE BẰNG CÔNG NGHỆ VIỄN THĂM ĐA  
TẦNG, ĐA ĐỘ PHÂN GIẢI, ĐA THỜI GIAN**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ KHOA HỌC TRÁI ĐẤT**

**Ngành: Địa lý tài nguyên và môi trường**

**Mã số: 9 44 0220**

**HÀ NỘI, 2026**

**Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS Phạm Việt Hòa

Người hướng dẫn khoa học 2: TS. Hồ Đình Duẩn

Phản biện 1: ...

Phản biện 2: ...

Phản biện 3: ....

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện, họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi ... giờ ..', ngày ... tháng ... năm 2026

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
- Thư viện Quốc gia Việt Nam

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của luận án

Việt Nam là nước chịu ảnh hưởng nặng nề nhất của biến đổi khí hậu trong số các nước đang phát triển. Theo nghiên cứu của Ngân hàng Thế giới năm 2007 Việt Nam là nước chịu rủi ro do nước biển dâng đứng hàng thứ hai trên thế giới, hệ quả tất yếu là sự gia tăng về cường độ xâm nhập mặn trên diện rộng ở đồng bằng sông Cửu Long[1]. Xu hướng này gây ảnh hưởng tiêu cực đến sinh kế của hàng triệu người dân đang sống phụ thuộc vào nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản. Nằm ở phía Đông của ĐBSCL, tiếp giáp với biển, Bến Tre được đánh giá là chịu ảnh hưởng nhiều của BĐKH. Với đường bờ biển dài trên 65km, địa hình tương đối thấp và bằng phẳng, lại nằm giữa các cửa sông lớn, Bến Tre thường xuyên chịu tác động mạnh của hiện tượng xâm nhập mặn. Diện tích đất nuôi trồng thủy sản đã mở rộng đáng kể về phía sâu vào trong đất liền cộng với vấn đề suy thoái rừng phòng hộ ven biển khiến nước mặn có thể xâm nhập vào sâu trong nội đồng, làm mặn hóa đất, thiếu nước sinh hoạt và suy giảm nghiêm trọng diện tích đất trồng lúa, ảnh hưởng đến sinh kế và an ninh lương thực trong khu vực.

Nghiên cứu hiện trạng, diễn biến và phân vùng nhiễm mặn là một phương pháp hiệu quả giúp các nhà quản lý theo dõi, đánh giá được mức độ ảnh hưởng của tình trạng xâm nhập mặn, đồng thời đề xuất được những biện pháp phù hợp ngăn ngừa và chống chịu với biến đổi khí hậu đang diễn ra ngày càng phức tạp và khó dự đoán ở đồng bằng sông Cửu Long. Có nhiều phương pháp để nghiên cứu, đánh giá, xác định vùng đất nhiễm mặn như: quan trắc tiếp ngoài thực địa bằng cách sử dụng các thiết bị đo nhanh, sử dụng hệ thống lỗ khoan, thông qua tính dẫn điện của bề mặt trên ảnh radar; hoặc xác định vùng ảnh hưởng một cách gián tiếp thông qua chỉ thị sinh thái là lớp phủ bề mặt giải đoán từ ảnh viễn thám như MODIS, LANDSAT, Sentinel, VNREDSat-1.

Do phải lượng hóa sự xâm nhập mặn dựa vào số liệu từ nhiều điểm đo phân bố rời rạc trên một vùng diện tích rộng lớn với nhiều loại hình sử dụng đất khác nhau nên các phương pháp giám sát mặn hóa truyền thống cho thấy có những nhược điểm nhất định. Với sự phát triển của công nghệ viễn thám, viễn thám hiện nay cung cấp nhiều loại tư liệu như phổ phản xạ mặt đất, ảnh máy bay, ảnh vệ tinh đa phổ, siêu phổ, radar, công nghệ viễn thám mang đến một phương pháp tiếp cận mới trong việc nghiên cứu, đánh giá diễn biến và phân vùng nhiễm mặn trên diện rộng. Kết hợp các kết quả, chỉ số thu được từ tư liệu viễn thám với số liệu mặt đất là một phương pháp tiếp cận mới, mang tính khách quan hỗ trợ cho các nhà quản lý có thể khoanh vùng, xác định được mức độ ảnh hưởng của nhiễm mặn, từ đó có những giải pháp thích ứng kịp thời, phù hợp với điều kiện của từng địa phương.

Luận án “ Nghiên cứu diễn biến và phân vùng nhiễm mặn tỉnh Bến Tre bằng công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian” đã xác lập được cơ sở khoa học nghiên cứu diễn biến và phân vùng nhiễm mặn theo hướng tiếp cận viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian kết hợp với số liệu thực địa. Kết quả thử nghiệm, phân tích, đánh giá của luận án chứng minh tính hiệu quả của công nghệ trong việc xác định cơ chế, diễn biến và phân cấp các vùng ảnh hưởng xâm nhập mặn ở khu vực nghiên cứu bằng công nghệ viễn thám đã đề xuất. Vì vậy luận án “ Nghiên cứu diễn biến và phân vùng nhiễm mặn tỉnh Bến Tre bằng công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian” có tính cấp thiết, tính thời sự, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

## 2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Xác lập cơ sở khoa học và phương pháp luận ứng dụng công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian nhằm nâng cao hiệu quả nghiên cứu diễn biến và phân vùng xâm nhập mặn nói chung và cho khu vực ven biển tỉnh Bến Tre nói riêng.

## 3. Các nội dung nghiên cứu chính của luận án

- Nghiên cứu đặc điểm và hiện trạng nhiễm mặn tỉnh Bến Tre
- Nghiên cứu phương pháp tích hợp, quy trình phân tích, đánh giá và phân vùng nhiễm mặn bằng tư liệu viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian.
- Nghiên cứu đặc điểm phản xạ, tán xạ, hấp thụ phục vụ xác định mức độ nhiễm mặn từ ảnh vệ tinh.
- Xác định những chỉ số trực tiếp (chỉ số độ mặn SI – Salinity Index), gián tiếp (chẳng hạn như chỉ số độ ẩm, bốc hơi, nhiệt độ, độ phủ bề mặt...) và mối tương quan với các thông tin hỗ trợ nhằm xác định mức độ nhiễm mặn từ ảnh vệ tinh.
- Thu thập và xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa hình, địa mạo, thổ nhưỡng, hiện trạng sử dụng đất, số liệu quan trắc khí tượng, thủy văn và môi trường, bao gồm cả cơ sở dữ liệu, tư liệu ảnh vệ tinh đa độ phân giải, đa thời gian tỉnh Bến Tre – khu vực thí điểm nghiên cứu.
- Xác định thực trạng phân bố nhiễm mặn, đánh giá mức độ, diễn thế nhiễm mặn bằng tư liệu viễn thám khu vực tỉnh Bến Tre..

## CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ VIỄN THÁM ĐA TẦNG, ĐA ĐỘ PHÂN GIẢI, ĐA THỜI GIAN TRONG NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ VÀ PHÂN VÙNG NHIỄM MẶN

### 1.1. Các nghiên cứu ứng dụng viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian trong nghiên cứu nhiễm mặn trên thế giới

#### 1.1.1. Phổ mặt đất

Ở tầng mặt đất, máy đo phổ cầm tay như GER3700 và ASD cho phép đo phản xạ phổ của đất trên các dải sóng liên tục từ 400 – 2500nm với độ phân giải phổ cao. Dữ liệu từ các thiết bị này được đưa vào thư viện phổ, làm căn cứ để phân loại ảnh vệ tinh và ảnh hàng không

#### 1.1.2. Viễn thám đa phổ

Trong nghiên cứu xâm nhập mặn. Ảnh đa phổ cho phép phân biệt được đất nhiễm mặn và đất không bị nhiễm mặn và nhận diện được đất nhiễm mặn ở mức độ nặng tốt. Dữ liệu viễn thám đa phổ thường được dùng kết hợp với các lớp chuyên đề khác như địa hình, địa chất, thủy văn, thổ nhưỡng, chất lượng nước, bản đồ sử dụng đất để nâng cao độ chính xác. Dữ liệu ảnh đa phổ thường bao gồm cả dải sóng hồng ngoại nhiệt (chẳng hạn như LANDSAT), đây là dải sóng mà sự hấp thụ, phản xạ của đất chịu ảnh hưởng mạnh của các thành phần hóa học như sun phát, phốt phát, clorit. Thông tin từ các kênh nhiệt có thể được sử dụng để tách các loại đất tương tự nhau về phổ phản xạ trên dải sóng nhìn thấy

#### 1.1.3. Viễn thám siêu phổ

Ảnh siêu phổ cung cấp một lượng lớn các kênh phổ với độ phân giải phổ cao cho phép phân biệt các loài cây chịu mặn với cây không chịu mặn, cũng như cho phép nhận diện các đặc tính của đất nhiễm mặn chi tiết hơn so với ảnh đa phổ

Đã có một số nghiên cứu chứng tỏ khả năng ứng dụng của loại dữ liệu siêu phổ trong nghiên cứu nhiễm mặn. Các nghiên cứu này đều kết luận rằng, thành phần hữu cơ của đất, độ ẩm đất và khu vực đất bị nhiễm mặn có thể phân biệt được nếu sử dụng kết hợp dữ liệu từ các bộ cảm gắn trên máy bay với dữ liệu thực địa.

#### 1.1.4. Viễn thám Radar

Ứng dụng của viễn thám radar trong lĩnh vực xâm nhập mặn cho đến nay còn ít so với viễn thám quang học. Nguyên nhân một phần do sự phức tạp của dữ liệu, một phần do khả năng tiếp cận, thu thập tư liệu viễn thám radar còn hạn chế. Nhìn chung, đối với lĩnh vực này, các nhà nghiên cứu cho rằng kênh C, P là đặc biệt là kênh L có khả năng nhận diện được đất nhiễm mặn

## **1.2. Các nghiên cứu ứng dụng viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian trong nghiên cứu nhiễm mặn trong nước**

### **1.2.1. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian**

Nhu cầu sử dụng tư liệu viễn thám và số liệu kiểm chứng thực địa rất đa dạng ở nhiều cơ quan, đơn vị trong công tác điều tra tài nguyên. Cùng với sự phong phú và sẵn có về dữ liệu viễn thám đa phổ, đa độ phân giải như hiện nay, giải pháp kết hợp dữ liệu viễn thám đa tầng như trình bày ở trên gồm viễn thám mặt đất, tầng máy bay và vệ tinh viễn thám là một giải pháp tích hợp và bổ sung rất hiệu quả cho các nghiên cứu chuyên ngành.

Các nghiên cứu về viễn thám radar trong nước

Tại Việt Nam, đã có không ít nghiên cứu về xâm nhập mặn, tuy nhiên, các hướng nghiên cứu chủ yếu tập trung vào phương pháp sử dụng mô hình động lực học, mô phỏng dòng chảy, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát ở sông, hệ thống tưới..., phương pháp nghiên cứu kết hợp với các đặc điểm địa chất của khu vực nghiên cứu, và lồng ghép với vấn đề biến đổi khí hậu. Những nghiên cứu sử dụng tư liệu viễn thám trong phát hiện và giám sát xâm nhập mặn ở Việt Nam chưa nhiều, mới chỉ dừng lại ở việc sử dụng các tư liệu ảnh viễn thám đa phổ, hầu như còn chưa tiếp cận được tới các tư liệu viễn thám siêu phổ và viễn thám radar.

### **1.2.2. Viễn thám trong nghiên cứu xâm nhập mặn và đất nhiễm mặn.**

Nhìn chung, nhu cầu giám sát độ nhiễm mặn của đất phục vụ cho công tác điều tra, thống kê cũng như quy hoạch sử dụng đất đòi hỏi cần phải có những nghiên cứu chuyên sâu, trên diện rộng với phương pháp tiếp cận phù hợp. Ở Việt Nam, việc nghiên cứu hiện tượng nhiễm mặn mới dừng lại ở việc đo đạc trực tiếp, thống kê diện tích xâm nhập mặn thông qua việc thành lập bản đồ điều tra. Tuy nhiên, phương pháp này còn khá nhiều hạn chế như tốn thời gian, công sức và khả năng cập nhật thấp.

## **1.3. Cơ sở khoa học trong nghiên cứu nhiễm mặn**

### **1.3.1. Nhiễm mặn và đất mặn**

Đất nhiễm mặn là đất có tồn tại các loại muối hòa tan ở một nồng độ cao hơn bình thường, gây ảnh hưởng xấu đến cây trồng. Để đánh giá độ mặn của đất, người ta dùng đại lượng EC là độ dẫn điện của đất, có đơn vị là dS/m ( $1\text{dS/m} = 0,64\%$ ). Đất mặn là những loại đất có độ dẫn điện  $>4\text{ dS/m}$  ở  $25^\circ\text{C}$  tương đương với nồng độ muối hòa tan khoảng  $2,56\%$  theo cách tính thông thường tại Việt Nam.

Trong nghiên cứu này, nhiễm mặn được hiểu như là sự xâm mặn hóa của đất trong sản xuất nông nghiệp. Theo đó, đất nhiễm mặn là đất có chứa một lượng muối hòa tan đủ để ảnh hưởng đến sự sinh trưởng và phát triển của cây trồng. Sự mặn hóa là quá trình xâm nhiễm và tích tụ của các muối và các kim loại kiềm trong môi trường đất, nước khiến môi trường này chưa bị mặn trở nên mặn, hoặc từ ít mặn trở nên mặn nhiều hơn.

### **1.3.2. Cơ chế của nhiễm mặn và mặn hóa đất**

Cơ chế của nhiễm mặn và mặn hóa đất bao gồm một số dạng sau:

- Xâm nhập mặn do nước biển xâm nhập vào nội đồng do triều đưa vào hay do nước biển dâng, tạo nên quá trình xâm thực của mặn vào các vùng đất ven biển.

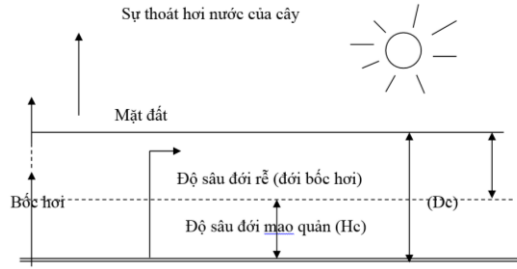
- Sự di chuyển, thẩm thấu của nước mặn vào tầng nước ngọt dưới ảnh hưởng của sự phát triển nước ngầm các vùng ven biển. Nước ngầm nhiễm mặn này lại tiếp tục thấm vào vùng đất kề cận của phẫu diện, cứ như vậy gây nên đất và nước bị nhiễm mặn.

- Sự xâm nhập của nước biển vào sông, đặc biệt vào mùa khô, khi lượng nước đổ ra biển giảm, thủy triều từ biển mang mặn lấn sâu vào làm nước sông và những vùng lân cận bị nhiễm mặn. Ở các vùng cửa sông ven biển, nước mặn có thể xâm nhập bên dưới tầng nước ngọt, do nước mặn có tỷ trọng lớn hơn nước ngọt, nó tạo thành một "cái nêm" nước mặn nằm dưới đi sâu vào đồng bằng ven biển.

- Sự xâm nhập của nước mặn từ biển chảy vào sông, thông qua các kênh rạch, rò rỉ vào tầng đất canh tác. Sự mở rộng diện tích nuôi trồng thủy sản ven biển cũng là một tác nhân gây mặn cho đất thông qua cơ chế thẩm thấu.

- Bay hơi: muối hòa tan tích lũy ở những nơi mà quá trình bay hơi chiếm ưu thế, nước ngầm mặn trong lòng đất đi lên bề mặt thông qua hiện tượng mao dẫn, tạo điều kiện cho nước mặn xâm nhập gây mặn hóa cho đất. Ở đây, nước chỉ là vật mang để muối di chuyển trong đất, và nước mang muối trong đất tập trung lại nhờ quá trình bay hơi và sự thoát hơi nước.

- Thảm thau do tưới tiêu và thủy lợi: do không đo lường được, nước mặn hoặc lợ có thể được sử dụng để dẫn vào hệ thống thủy lợi, tưới trên các diện tích canh tác nông nghiệp. Loại hình này hay xảy ra ở vùng sản xuất nông nghiệp đan xen với nuôi trồng thủy sản. Mức độ mặn hóa phụ thuộc vào thành phần và nồng độ muối trong nước, lượng nước, phương pháp tưới, độ thấm và đặc tính thổ nhưỡng.



Hình 2-1. Mối quan hệ giữa sự bốc hơi, đới rễ và đới mao quản

### 1.3.3. Độ mặn của đất

Hiện nay, trên thế giới thường dùng đại lượng EC là độ dẫn điện của đất để đánh giá độ mặn 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  $dS/m = mS/cm = mmho/cm$
- + 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.

Bảng 1-1. Phân cấp độ mặn trong đất theo EC (dS/m)

Đánh giá	EC bão hòa	EC (1:5)
Không mặn	0 - 4	0 - 0,6
Mặn nhẹ	4 - 8	0,6 - 1,2
Mặn vừa	8 - 15	1,2 - 2,3
Mặn nặng	trên 15	trên 2,3

Bảng 1-2. Phân cấp độ mặn nước tưới

Cấp độ	EC (dS/m)	Đánh giá
I	$< 0,25$	Nước ngọt
II	0,25 - 0,75	Mặn nhẹ, dùng được
III	0,75 - 2,25	Mặn nặng, lúa bị hại
IV	2,25 - 5,00	Mặn rất nặng, không dùng tưới được

### 1.3.4. Phân loại đất mặn

- Đất mặn (Saline soil)
- Đất kiềm (Sodic soil)

Bảng 1-3. Phân loại một số loại đất mặn

Loại đất mặn	EC (ds/m)	SAR	ESP (tỷ lệ trao đổi kiềm)	pH
Đất mặn	$>4$	$<13$	$<15$	$<8.5$
Đất kiềm	$<4$	$>13$	$>15$	$>8.5$
Đất mặn kiềm	$>4$	$>13$	$>15$	

Bảng 1-4. Phân chia cấp độ mặn ảnh hưởng tới cây trồng

Loại đất mặn	Độ dẫn điện của đất (dS/m)	Nồng độ muối hòa tan (‰)	Ảnh hưởng đến cây trồng
Không mặn	0 - 2	0 - 1,28	Ảnh hưởng không đáng kể

Mặn ít	2 – 4	1,28 – 2,56	Năng suất của nhiều loại cây có thể bị giới hạn
Mặn trung bình	4 – 8	2,56 – 5,12	Năng suất của nhiều loại cây trồng bị giới hạn
Mặn	8 – 16	5,12 – 10,24	Chỉ một số cây trồng chịu đựng được
Rất mặn	> 16	> 10,24	Chỉ rất ít cây trồng chịu đựng được.

Bảng 1-5. Phân cấp độ mặn theo FAO

Loại đất	EC (mS/cm)	Tổng lượng muối hòa tan (%)
Không mặn	< 4	< 0,15
Mặn ít	4 - 8	0,15 - 0,35
Mặn trung bình	8 - 15	0,35 - < 0,65
Mặn nhiều	> 15	> 0,65

Bảng 1-6. Phân cấp độ mặn theo hàm lượng 4 chỉ tiêu trong đất

Đánh giá	EC (1:5)	% TMT	% Cl-	% SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Không mặn	0 - 0,5	< 0,25	< 0,075	< 0,03
Mặn nhẹ	0,5 - 1,0	0,25 - 0,5	0,075 - 0,150	0,03 - 0,06
Mặn vừa	1,0 - 2,5	0,5 - 1,0	0,15 - 0,30	0,06 - 0,12
Mặn nặng	trên 2,0	> 1,0	> 0,3	> 0,12

### 1.3.5. Các phương pháp truyền thống xác định nhiễm mặn bằng độ mặn của đất

#### 1.3.5.1. Phương pháp phòng thí nghiệm

#### 1.3.5.2. Phương pháp hiện trường

#### 1.3.5.3. Xác định nhiễm mặn qua sự biến đổi hệ sinh thái và biến động sử dụng đất

## Kết luận

Viễn thám trong nghiên cứu đất nhiễm mặn là sự kết hợp của giải đoán ảnh, giải đoán tổ hợp màu ảnh vệ tinh và tính toán phân tích ảnh số vệ tinh. Với nhiều ưu điểm về thời gian và đa dạng về loại ảnh, công nghệ viễn thám đã dần được sử dụng để nghiên cứu các vấn đề liên quan đến xâm nhập mặn thay thế cho các phương pháp truyền thống.

Ứng dụng công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian trong nghiên cứu, đánh giá, phân vùng XNM kết hợp với số liệu thực địa để tính diện tích là khả thi và cho độ chính xác khá cao nhất là với các vùng trồng lúa chịu ảnh hưởng của XNM.

## CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP LUẬN KẾT HỢP TƯ LIỆU VIỄN THÁM ĐA TẦNG, ĐA ĐỘ PHÂN GIẢI, ĐA THỜI GIAN TRONG NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN VÀ PHÂN VÙNG NHIỄM MẶN

### 2.1. Cơ sở khoa học ứng dụng công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian trong nghiên cứu, đánh giá, phân vùng nhiễm mặn

#### 2.1.1. Đặc trưng cơ bản của viễn thám quang học

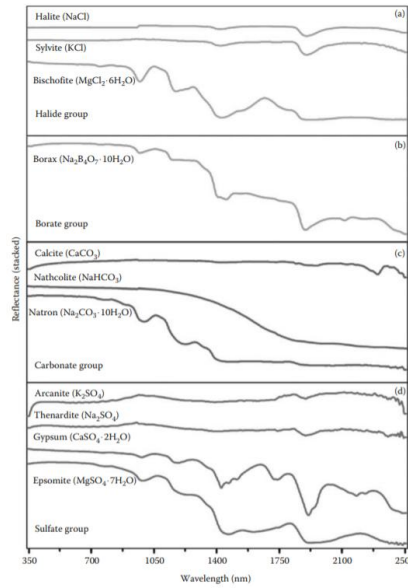
Dữ liệu ảnh viễn thám được dùng để thu thập thông tin về bề mặt Trái đất bằng cách ghi lại bức xạ điện từ thông qua một hoặc nhiều vùng của phổ điện từ phản xạ từ bề mặt Trái đất. Mức độ phản xạ và hấp thụ của từng đối tượng trên bề mặt Trái đất khác nhau và mỗi vật thể tương tác duy nhất với năng lượng EM.

#### 2.1.2. Các dấu hiệu nhận biết đất nhiễm mặn từ ảnh viễn thám

- sự xuất hiện của cây chịu mặn và các dấu hiệu khác như năng suất cây trồng
- đất có giá trị EC lớn hơn 4 dS/m lại phản xạ yếu hơn trên dải sóng 500-2380nm

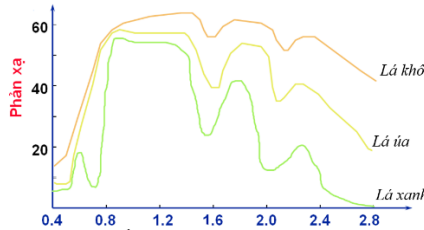
Hệ số tương quan giữa màu sắc của bề mặt đất nhiễm mặn, giá trị EC và tỷ lệ hấp thụ Natri và kết luận rằng màu sắc của cặn muối trên bề mặt đất có thể được sử dụng làm chỉ thị tốt để đánh giá mức độ xâm nhập mặn

### 2.1.3. Đặc điểm phổ phản xạ của đất trong nghiên cứu nhiễm mặn



Hình 2-1. Đường cong phản xạ phổ của các loại khoáng vật muối

### 2.2.4. Đặc điểm phản xạ phổ của thực vật trong nghiên cứu nhiễm mặn



Hình 2-2. Đặc trưng phổ phản xạ của lá cây theo các trạng thái sinh trưởng

Đặc điểm phản xạ phổ của thực vật thay đổi theo bước sóng và các giai đoạn sinh trưởng khác nhau của thực vật. Bức xạ mặt trời bị phản xạ ngay một phần khi tới bề mặt lá cây. Đặc trưng phản xạ phổ của thực vật phụ thuộc vào đặc điểm của lá bao gồm sự định hướng và cấu trúc của lá.

### 2.1.5. Đặc điểm phản xạ của nước

Nước hấp thụ mạnh bức xạ trong vùng sóng cận hồng ngoại và hồng ngoại sóng ngắn. Phổ phản xạ thu được từ nước phát sinh từ 3 nguồn:

- + Phản xạ bề mặt/phản xạ gương (surface/specular reflection);
- + Phản xạ bởi các vật chất lơ lửng có trong nước/phản xạ khối nước (volume reflection);
- + Phản xạ đáy (bottom reflection).

### 2.1.6. Các chỉ số viễn thám trong nghiên cứu nhiễm mặn

- Chỉ số thực vật: NDVI, SAVI, EVI, GDVI
- Chỉ số muối, chỉ số độ mặn: CRSI, NDSI, SI
- Các chỉ số vật lý khác: BI, INT

### 2.1.7. Cơ sở khoa học ứng dụng viễn thám Radar trong nghiên cứu nhiễm mặn

Radar (Radio Detection And Ranging) là khái niệm dùng để phát hiện và xác định vị trí của các đối tượng thông qua việc phát ra những xung năng lượng vi sóng theo một hướng quan tâm rồi ghi lại cường độ của những xung phản hồi từ các đối tượng trong trường thu nhận của thiết bị.

## 2.2. Cơ sở khoa học một số thuật toán machine learning trong ứng dụng nghiên cứu nhiễm mặn

Multilayer perceptron neural network (MLP-NN) - mô hình mạng nơron đa lớp, Radial Basis Function neural networks (RBF-NN) - mô hình mạng nơron hướng tâm, Gaussian Processes (GP) - mô hình hồi quy

phân phối Gaussian, Support Vector Regression (SVR) - mô hình hồi quy vector hỗ trợ, và Random Forests (RF) - mô hình phân loại rừng cây ngẫu nhiên.

### Kết luận

Sử dụng dữ liệu viễn thám đa phổ, đa thời gian kết hợp với số liệu thực địa cho phép ta theo dõi được xu thế biến động lớp phủ, theo dõi năng suất cây trồng, xác định các khu vực có phân bố cây chịu mặn, chịu lợ. Sự xuất hiện của các loại cây trồng hay thảm thực vật khác nhau cũng có những phản xạ riêng, đặc thù trên ảnh vệ tinh và các chỉ số tính toán được từ ảnh. Từ đó, tính toán được những ảnh chỉ số gián tiếp, giúp khoanh vùng ảnh hưởng và đánh giá được diễn thế của hiện tượng xâm nhập mặn hay sự mặn hóa của đất trên địa bàn nghiên cứu.

Đối với các nguồn ảnh vệ tinh độ phân giải cao trên thế giới như: SPOT, IKONOS, QuickBird, ... việc sử dụng chiết tách các thông tin phục vụ cho nghiên cứu về xâm nhập mặn sẽ cho kết quả độ chính xác đáng tin cậy. Tuy nhiên việc chủ động nguồn ảnh cũng như độ phủ trùm của những loại ảnh viễn thám này dẫn tới kinh phí cao sẽ là một trong những điều kiện đầu tiên cần phải xem xét để đảm bảo được tính khả thi trong nghiên cứu.

Ứng dụng công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian trong nghiên cứu, đánh giá, phân vùng XNM kết hợp với số liệu thực địa để tính diện tích là có cơ sở và khi ứng dụng họ máy cho độ chính xác khá cao nhất là với các vùng trồng lúa chịu ảnh hưởng của XNM.

Với sự giám sát ảnh hưởng của XNM đến các vùng trồng lúa trong nhiều năm, chúng ta hoàn toàn có thể rút ra được những cảnh báo sớm cho người dân về sự cố thiên tai có thể xảy ra trong tương lai, đồng thời giúp cho các nhà quản lý có những phương thức chỉ đạo phù hợp với tình hình ở các thời điểm khác nhau. Từ đó cho thấy khả năng sử dụng ảnh viễn thám radar, siêu phổ, đa phổ, ảnh viễn thám phân giải cao, trung bình, thấp, đa thời gian, hàng không trong nghiên cứu mùa vụ cây trồng cũng đạt kết quả khả quan.

## CHƯƠNG 3. ỨNG DỤNG VIỄN THÁM TRONG NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN VÀ PHÂN VÙNG ẢNH HƯỞNG NHIỄM MẶN TỈNH BẾN TRE

### 3.1. Khái quát về khu vực nghiên cứu

#### 3.1.1. Khái quát về tỉnh Bến Tre

##### 3.1.1.1. Vị trí địa lý

##### 3.1.1.2. Điều kiện tự nhiên

##### 3.1.1.3. Điều kiện kinh tế - xã hội

#### 3.1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến xu thế nhiễm mặn tại tỉnh Bến Tre

##### 3.1.2.1. Yếu tố tự nhiên:

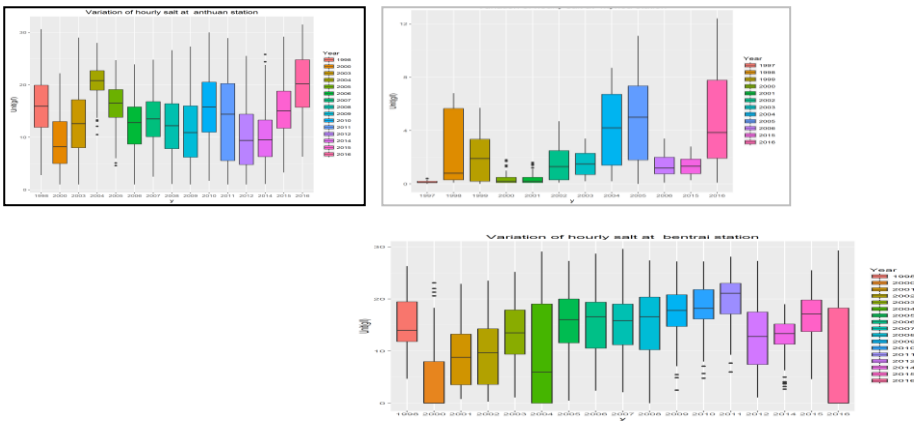
- Địa hình
- Nhân tố khí hậu
- Nhân tố thủy văn
- Chế độ triều
- Hướng sóng
- Lưu lượng dòng chảy thượng nguồn
- Tác động tương hỗ giữa dòng chảy sông và động lực biển

##### 3.1.2.2. Yếu tố nhân tác:

- do sử dụng đất
- do khai thác nước ngầm
- do hệ thống thủy lợi

#### 3.1.3. Thực trạng nhiễm mặn ở tỉnh Bến Tre

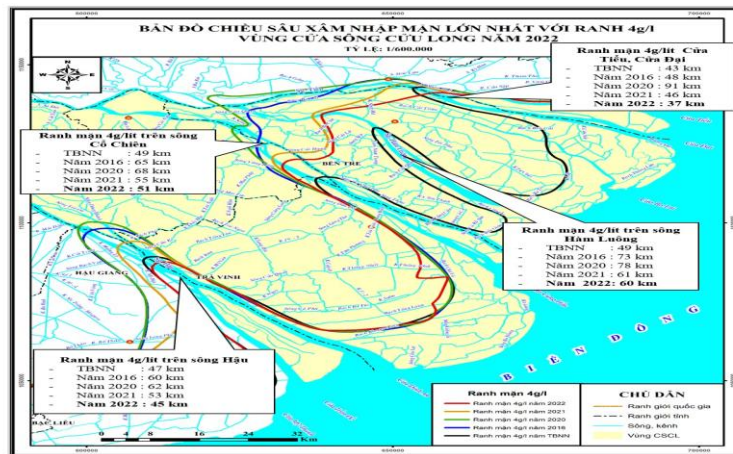
Hướng phân tích sẽ sử dụng một số trạm cửa sông; và một số trạm trên dòng chính phía trong khu vực tỉnh Bến Tre mà có đầy đủ số liệu để đánh giá xem diễn biến mặn trong những năm vừa qua tại khu vực Bến Tre. Đặc trưng đánh giá số liệu mặn giờ hoặc mặn lớn nhất ngày; số thời điểm mặn lớn hơn các ngưỡng 1g/l; 2g/l; và 4g/l



Hình 3-1 Diễn biến các đặc trưng độ mặn giờ theo các năm tại một số trạm đo mặn tỉnh Bến Tre

Qua đánh giá diễn biến mặn và giá trị mặn duy trì theo ngưỡng ở các trạm dọc sông Hàm Luông và sông Cửa Tiểu, Cửa Đại khu vực Bến Tre cho thấy. Hiện tượng nhiễm mặn là một hiện tượng phức tạp ảnh hưởng cộng dồn bởi nhiều yếu tố như dòng chảy thượng nguồn, sử dụng nước, thủy triều, hình thái lòng sông, gió chướng... trên cùng hệ thống sông xuất hiện giá trị mặn cực đại biến đổi theo thời gian là không giống nhau. Ví dụ tại Mỹ Tho năm 1998 là năm cực trị về mặn; thì tại Mỹ Hóa năm 2016 mới là năm cực trị.

**Đánh giá nhiễm mặn theo không gian:** Từ những đánh giá về tổng quan diễn biến mặn trên địa bàn tỉnh Bến Tre, cho thấy một số năm giá trị mặn lịch sử cả về phạm vi ảnh hưởng và mức độ ảnh hưởng, như các năm 2020, 2016, 1998, 2005, 2008.



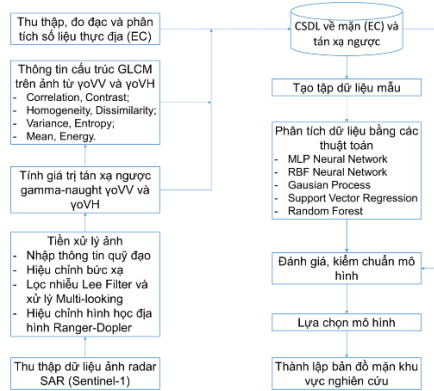
Hình 3-2. Phạm vi xâm nhập mặn (4g/l) lớn nhất

**Kết luận**

Bến Tre đã và đang triển khai nhiều biện pháp ứng phó với BĐKH như triển khai nhiều mô hình canh tác, công trình trọng điểm ứng phó lâu dài BĐKH. Bên cạnh đó là các dự án giảm nhẹ BĐKH như các dự án trồng rừng ven biển, các hoạt động giảm nhẹ phát thải khí nhà kính, chuyển đổi hệ thống điện năng lượng nhưng Bến Tre vẫn đã đang và sẽ chịu nhiều ảnh hưởng của BĐKH và XNM. Theo kịch bản BĐKH Bến Tre năm 2020 chúng ta thấy diện tích chịu ảnh hưởng của XNM ngày càng tăng, độ mặn xâm nhập vào sâu trong nội đồng và tăng dần theo năm. Độ mặn xâm nhập sâu trong nội đồng, thời gian kéo dài sẽ gây ảnh hưởng ngày càng lớn đến nền nông nghiệp của tỉnh ngày càng nhiều. Bên cạnh đó việc xâm nhập mặn duy trì ở duy trì liên tục ở mức cao không giảm theo quy luật nên công tác ứng phó BĐKH và XNM còn nhiều khó khăn.

**3.2. Nghiên cứu ứng dụng đánh giá và phân vùng nhiễm mặn bằng tư liệu viễn thám radar - thí điểm ở Bến Tre.**

**3.2.2. Quy trình phương pháp tiếp cận nghiên cứu đánh giá nhiễm mặn trên đất bằng tư liệu ảnh radar**



Hình 3-3: Quy trình phân tích, thành lập bản đồ xâm nhập mặn trong đất bằng tư liệu ảnh radar Sentinel-1

**3.2.3. Kết quả ứng dụng tư liệu viễn thám radar Sentinel-1 trong đánh giá, phân vùng nhiễm mặn tại Bến Tre**

*Đánh giá, lựa chọn mô hình*

Kết quả thiết lập và đánh giá mô hình thuật toán Multilayer Perceptron Neural Network ước tính độ mặn (EC) của đất dựa trên 18 lớp thông tin đầu vào được thể hiện trong bảng thống kê dưới đây. Số lượng các phần tử hidden neuron của thuật toán sử dụng dao động từ 1 đến 30. Các giá trị sai số RMSE, MAE và hệ số tương quan r được sử dụng để đánh giá mô hình đã phát triển dựa trên tập dữ liệu mẫu (training dataset) và kết quả đánh giá độ chính xác dựa trên tập dữ liệu kiểm chứng (validating dataset).

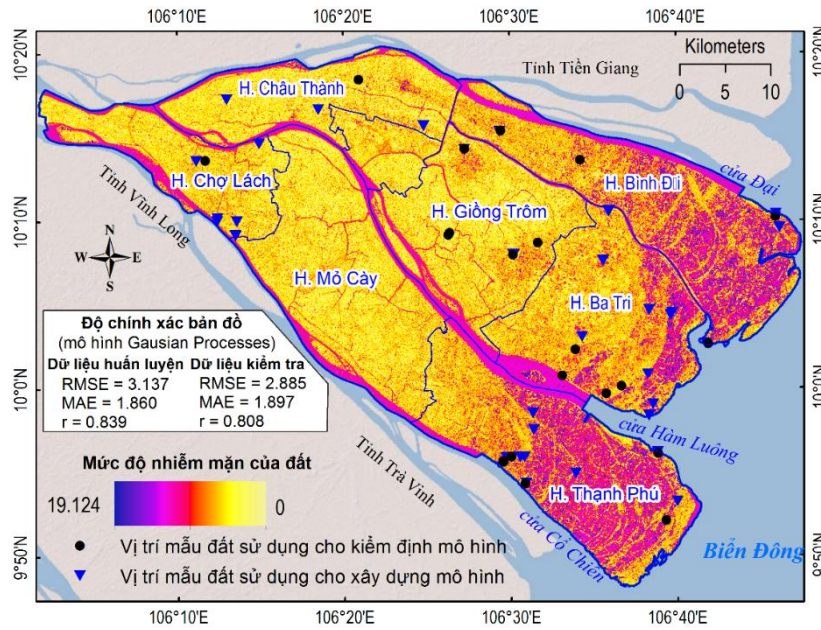
Liên quan đến kết quả kiểm định, mô hình GP có độ tương quan cao nhất (RMSE = 2.885, MAE = 1.897 và r = 0.808), tiếp theo là mô hình RBF-NN (RMSE = 2.732, MAE = 1.586 và r = 0.772). Ba mô hình còn lại, mô hình SVR (RMSE = 3.946, MAE = 2.091 và r = 0.664), mô hình MLP-NN (RMSE = 3.450, MAE = 2.646 và r = 0.624) và mô hình RF (RMSE = 3,417, MAE = 2,269 và r = 0,581), có hiệu suất dự đoán thấp.

Bảng 3-1. Bảng tổng hợp kết quả của 5 mô hình thuật toán machine learning ở khu vực nghiên cứu

Soil Salinity Model	Training Set			Validation Set		
	RMSE	MAE	r	RMSE	MAE	r
Multilayer Perceptron Neural Networks (MLP-NN)	3.744	2.936	0.836	3.450	2.646	0.624
Radial Basis Function Neural Networks (RBF-NN)	3.702	1.822	0.716	2.732	1.586	0.772
Gaussian Processes (GP)	3.170	1.860	0.839	2.885	1.897	0.808
Support Vector Regression (SVR)	4.784	1.868	0.685	3.946	2.091	0.664
Random Forests (RF)	2.008	1.252	0.949	3.417	2.269	0.581

*Ứng dụng thành lập bản đồ độ mặn đất*

Dựa vào các kết quả phân tích trên, có thể kết luận rằng mô hình Gaussian Processes (GP) là tốt nhất cho lập bản đồ độ mặn của đất trong khu vực nghiên cứu. GP có hệ số tương quan cao thứ 2 trong nhóm mô hình phát triển dựa trên tập dữ liệu mẫu training dataset, và đứng thứ nhất khi kiểm định mô hình. Mô hình RF phát triển tuy có hệ số tương quan cao, nhưng khi kiểm định độ chính xác, kết quả lại thấp nhất trong 5 phương pháp. Do vậy, mô hình GP đã được sử dụng để ước tính giá trị độ mặn (EC) của đất cho từng pixel ảnh Sentinel-1 trên địa bàn tỉnh Bến Tre.



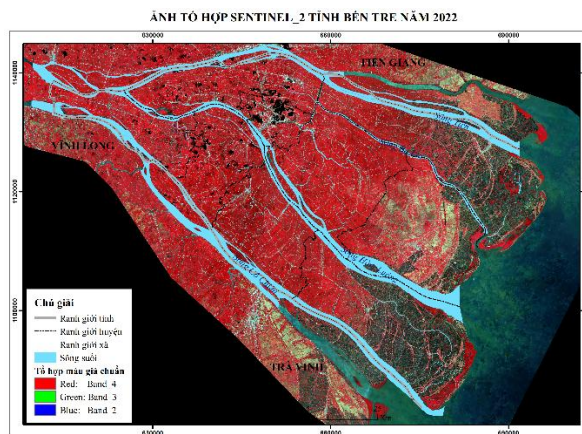
Hình 3-4. Bản đồ độ mặn đất tỉnh Bến Tre sử dụng mô hình Gaussian Processes (GP)

Bản đồ ước tính độ mặn trên đất cho thấy các khu vực tại ba huyện ven biển là Bình Đại, Ba Tri và Thạnh Phú có độ mặn cao. Điều này là do ba huyện nằm gần biển nơi nước mặn dễ có điều kiện xâm nhập vào đất liền khi triều cường dâng cao, nước biển đi sâu vào nội địa qua các cửa sông Đại, sông Hàm Lương và sông Cổ Chiên. Quan trọng hơn, đây cũng là 3 huyện có diện tích đất làm muối và nuôi trồng thủy sản lớn nhất của tỉnh Bến Tre.

**3.3. Nghiên cứu ứng dụng đánh giá và phân vùng nhiễm mặn bằng tư liệu viễn thám quang học - thí điểm ở Bến Tre.**

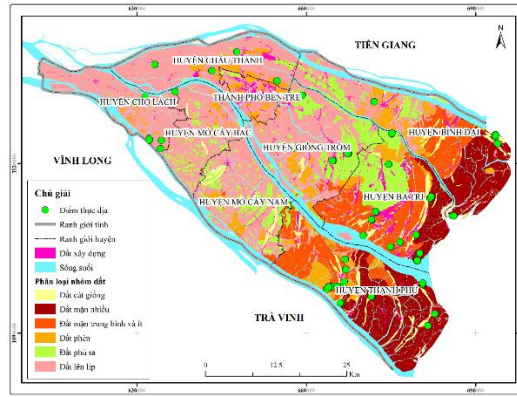
**3.3.1. Dữ liệu ảnh viễn thám quang học trong nghiên cứu nhiễm mặn**

Có nhiều loại tư liệu viễn thám quang học có thể sử dụng trong nghiên cứu đánh giá xâm nhập mặn. Việc lựa chọn tư liệu sử dụng cần cân nhắc đến số lượng kênh phổ, độ phân giải phổ, độ phân giải không gian, độ phủ trùm, phân giải thời gian (tần suất chụp lặp lại), tính đồng bộ và khả năng ứng dụng trong nghiên cứu đa thời gian. Dữ liệu sử dụng trong luận án bao gồm ảnh đa phổ Sentinel-2, ảnh LANDSAT5, 7, 8 và 9. Đây là nguồn dữ liệu ảnh được sử dụng miễn phí có độ phân giải không gian từ trung bình (Landsat: 30m) đến cao (Sentinel-2: 10m) cho nghiên cứu toàn tỉnh Bến Tre.



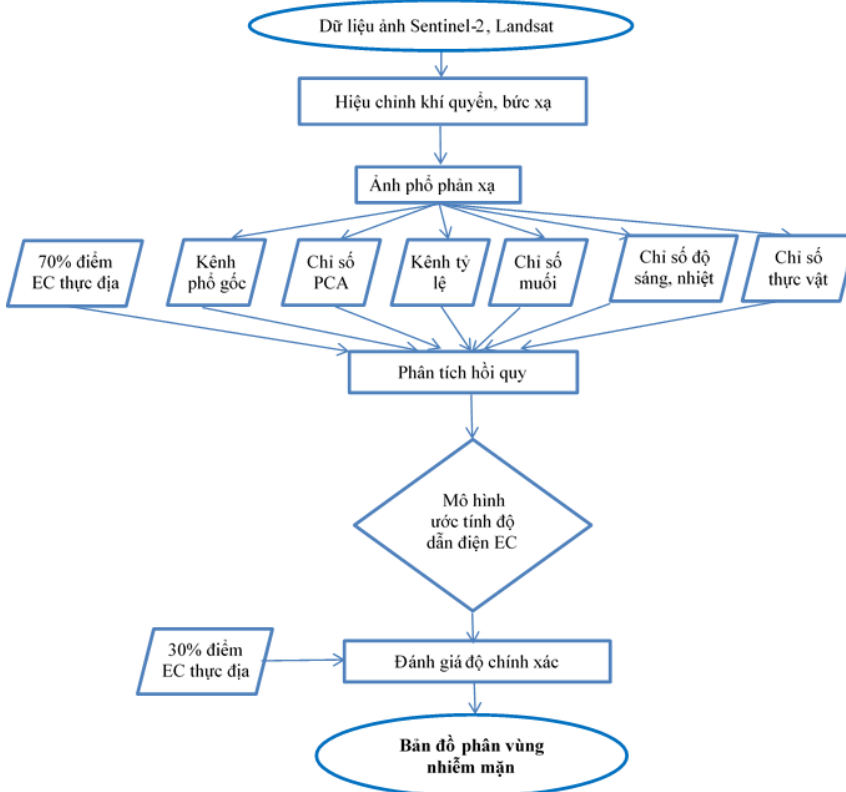
Hình 3- 5. Ảnh tổ hợp màu khu vực nghiên cứu năm 2022

### 3.3.2. Xử lý và đồng bộ dữ liệu thực địa



Hình 3-6. Bản đồ vị trí các điểm thực địa tỉnh Bến Tre năm 2018

### 3.3.3. Quy trình tích hợp dữ liệu và phân vùng nhiễm mặn



Hình 3-7. Quy trình phân vùng nhiễm mặn từ dữ liệu viễn thám và thực địa

Quá trình thu thập, tiền xử lý ảnh, tạo ảnh tổ hợp và tính toán các kênh chỉ số vật lý của ảnh Sentinel\_2 và ảnh Landsat được thực hiện trên công cụ GoogleEarthEninge (GEE). Đây là một nền tảng đám mây để truy cập và xử lý liên mạch số lượng lớn ảnh vệ tinh và ảnh trên không có sẵn miễn phí như ảnh Landsat-8, Sentinel, MODIS... Người dùng có thể truy cập và phân tích dữ liệu từ danh mục công cộng cũng như dữ liệu riêng tư. Google Earth Engine làm việc thông qua Giao Diện Trực tuyến của Ứng Dụng JavaScript (API) được gọi là Code Editor: <https://code.earthengine.google.com/>.

Các chỉ số viễn thám trong nghiên cứu xâm nhập mặn tại Bến Tre:

Trong bài toán phân vùng xâm nhập mặn của tỉnh Bến Tre, NCS chia các chỉ số vật lý thành 5 nhóm bao gồm: nhóm kênh phổ góc, nhóm chỉ số phân tích thành phần chính PCA, nhóm chỉ số độ sáng, nhóm chỉ số thực vật, chỉ số muối/độ mặn và chỉ số tỷ lệ. Riêng chỉ số nhiệt được tính cho ảnh LANDSAT8 và LANDSATTM.

### *Mô hình phân tích hồi quy đa biến*

Các kênh chỉ số vật lý sau khi tính toán được chiết xuất theo dữ liệu điểm đo EC sẽ là biến đầu vào cho các mô hình phân tích hồi quy. Trong đó, dữ liệu EC là biến phụ thuộc, còn các kênh chỉ số là các biến độc lập.

Trong nghiên cứu này, NCS thực hiện phân tích hồi quy theo phương pháp Stepwise nhằm tìm ra mô hình ước tính EC có độ tương quan cao nhất. Trong đó, bước đầu tiên là tính hồi quy đơn biến giữa giá trị EC với tất cả các chỉ số bao gồm các kênh phổ gốc, các kênh tỷ lệ, các kênh phân tích PCA, nhóm chỉ số thực vật và nhóm chỉ số muối. Phân tích tương quan Pearson được áp dụng trong bước này để tìm hiểu mối tương quan giữa EC với các kênh chỉ số. Các mô hình hồi quy bao gồm tuyến tính, ln() và đa thức bậc hai được thực hiện ở mức độ tin cậy 95%. Các biến có tương quan thấp có thể được loại bỏ, không sử dụng cho những bước tính tương quan tiếp theo. Nói cách khác là giảm bớt số lượng biến đầu vào ít ý nghĩa, có thể gây “nhiều” cho mô hình phân tích hồi quy tổng thể. Các biến bị loại bỏ là các biến có hệ số  $\text{sig} > 0,05$  và  $r \approx 0$  tương quan thấp, có khả năng và làm ảnh hưởng đến độ chính xác của mô hình.

Số liệu đo EC tại mỗi khu khảo sát thực địa được gán tọa độ và liên kết với các pixel (điểm ảnh) tương ứng trên ảnh vệ tinh và các ảnh chỉ số. Dữ liệu điểm để đưa vào trong các mô hình tính toán được phân chia làm 2 phần theo tỷ lệ 70/30. Trong đó, 70% điểm được dùng để phân tích thành lập mô hình tương quan, 30% dữ liệu còn lại để dùng đánh giá độ chính xác của mô hình. Các điểm có giá trị EC thực địa được gán với các điểm ảnh Sentinel-2, độ phân giải 10x10m, tổng cộng 1649 điểm, trong đó có 1154 điểm dùng cho tính toán và 495 điểm để đánh giá độ chính xác. Với ảnh LANDSAT, phân giải 30x30m, tổng số điểm phân tích tương quan EC là 556 điểm, trong đó 389 điểm dùng tính toán và 167 điểm để đánh giá độ chính xác.

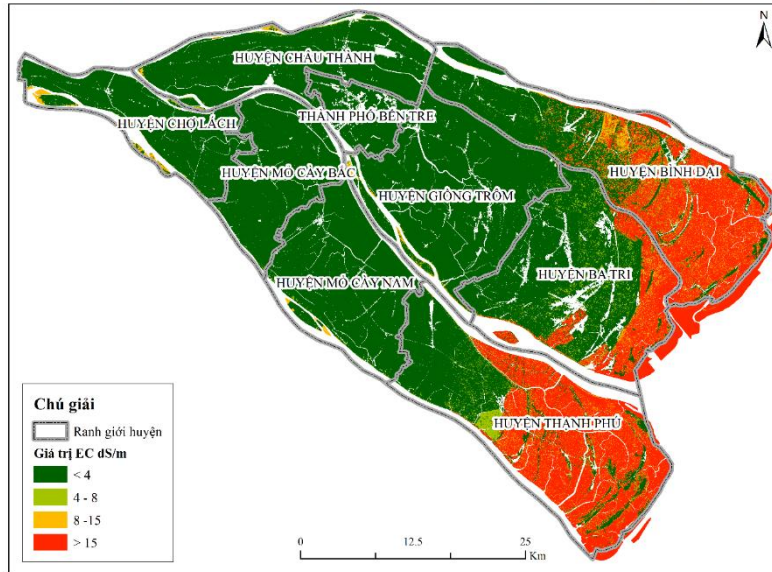
Độ chính xác của bản đồ phân vùng xâm nhập mặn cũng được thực hiện bằng phân tích hồi quy tuyến tính ở mức độ tin cậy 95% giữa EC tính toán được với 30% dữ liệu điểm EC thực địa. Điều này nhằm đảm bảo EC tính toán được có độ chính xác không chỉ ở trên một tập dữ liệu cụ thể mà còn mang lại kết quả chính xác trên các tập dữ liệu khác. Hai tiêu chí định lượng để đánh giá độ chính xác của mô hình là  $R^2$  biểu thị cường độ của mối quan hệ tuyến tính giữa EC đo đạc ngoài thực địa và EC tính toán; và sai số toàn phương trung bình RMSE để đo lường sai số giữa hai bộ dữ liệu [80]. Giá trị RMSE càng nhỏ thì có nghĩa EC tính toán càng gần với EC đo được ngoài thực địa và ngược lại.

#### **3.3.4. Ứng dụng đánh giá phân vùng nhiễm mặn bằng ảnh Sentinel-2 khu vực Bến Tre**

Kết quả thống kê cho thấy tương quan giữa các kênh ảnh Sentinel-2 và số liệu EC thực địa tăng lên đáng kể  $R^2 = 0,517$  so với đánh giá tương quan đơn biến. Hay như với nhóm kênh tỷ số, nhóm chỉ số muối,  $R^2$  cũng tăng lên. Nhóm chỉ số độ sáng tính từ ảnh Sentinel-2 có quan hệ hồi quy thấp nhất. Nổi bật hơn cả là sự tương quan giữa các chỉ số tổng hợp với giá trị EC thực địa thể hiện bằng mô hình S\_EC9 với hệ số tương quan cao  $r = 0,83$  và hệ số hồi quy  $R^2 = 0,688$ . Kết quả sử dụng mô hình này để ước tính độ mặn trong đất trên toàn tỉnh Bến Tre được thể hiện trong hình dưới. Đất mặn nhiều phân bố phần lớn ở huyện Bình Đại, Ba Tri và Thạnh Phú.

Chính vì vậy, để ước tính giá trị EC cho toàn tỉnh Bến Tre trên các loại hình hiện trạng lớp phủ khác nhau, đề tài đã tiến hành phân tích EC với tất cả các kênh phổ và các kênh chỉ số. Kết quả được thể hiện bằng mô hình S\_EC9 với hệ số hồi quy cao  $R^2 = 0,688$ .

PHÂN BỐ ĐỘ DẪN ĐIỆN EC TỈNH BẾN TRE NĂM 2018 TÍNH TỪ ẢNH SENTINEL-2



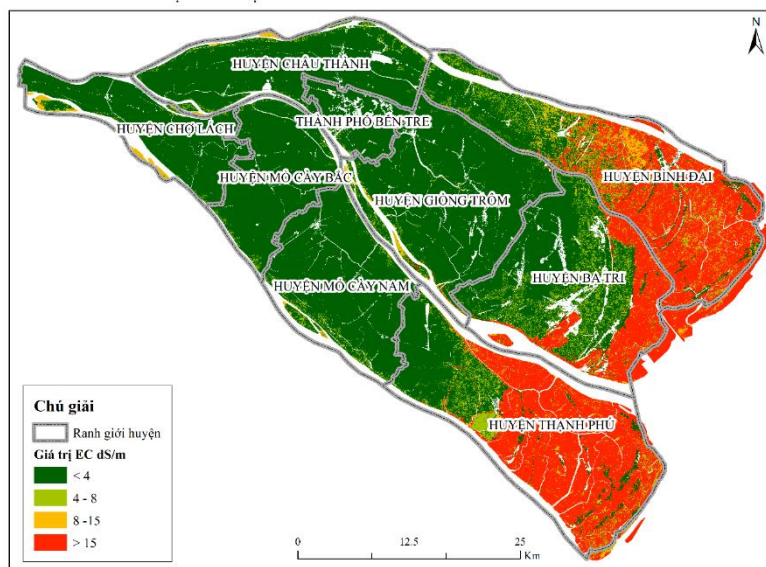
Hình 3-8. Sự phân bố của EC tính từ ảnh Sentinel-2 năm 2018

### 3.3.5. Ứng dụng đánh giá phân vùng nhiễm mặn bằng ảnh LANDSAT khu vực Bến Tre

Với dữ liệu tính từ ảnh LANDSAT, NCS thực hiện các bước tương tự như với ảnh Sentinel-2. Số điểm mẫu thực địa sử dụng để phát triển mô hình là 389 điểm. Kết quả của bước đầu tiên nhằm đánh giá mức độ tương quan của từng biến là các kênh, ảnh chỉ số riêng lẻ được thể hiện trong bảng thống kê. Biến PCA4 ( $\text{sig}=0,081$ ,  $r=0,088$ ) bị loại bỏ trong các tính toán tiếp theo. Nhìn chung, mối tương quan giữa các kênh ảnh và chỉ số tính từ ảnh LANDSAT với giá trị EC thực địa cao hơn so với ảnh Sentinel-2.

Với các hàm hồi quy đa biến, hệ số tương quan xác định theo từng nhóm dữ liệu cho kết quả khả quan hơn. Nhóm kênh tỷ số có hệ số tương quan  $r$  và hệ số hồi quy  $R^2$  tương đối cao. Tuy nhiên, tương quan đánh giá tổng hợp các chỉ số L\_EC8 cho thấy có độ tương quan và hồi quy cao nhất ( $r = 0,783$  và  $R^2=0,613$ ). Do vậy, kết quả của mô hình này được lựa chọn sử dụng để tính toán giá trị EC cho toàn tỉnh Bến Tre và cũng là kết quả để phân tích sự biến đổi diện tích đất bị xâm nhập mặn của tỉnh qua các năm

PHÂN BỐ ĐỘ DẪN ĐIỆN EC TỈNH BẾN TRE NĂM 2018 TÍNH TỪ ẢNH LANDSAT



Hình 3-9. Sự phân bố của EC tính từ ảnh Landsat năm 2018

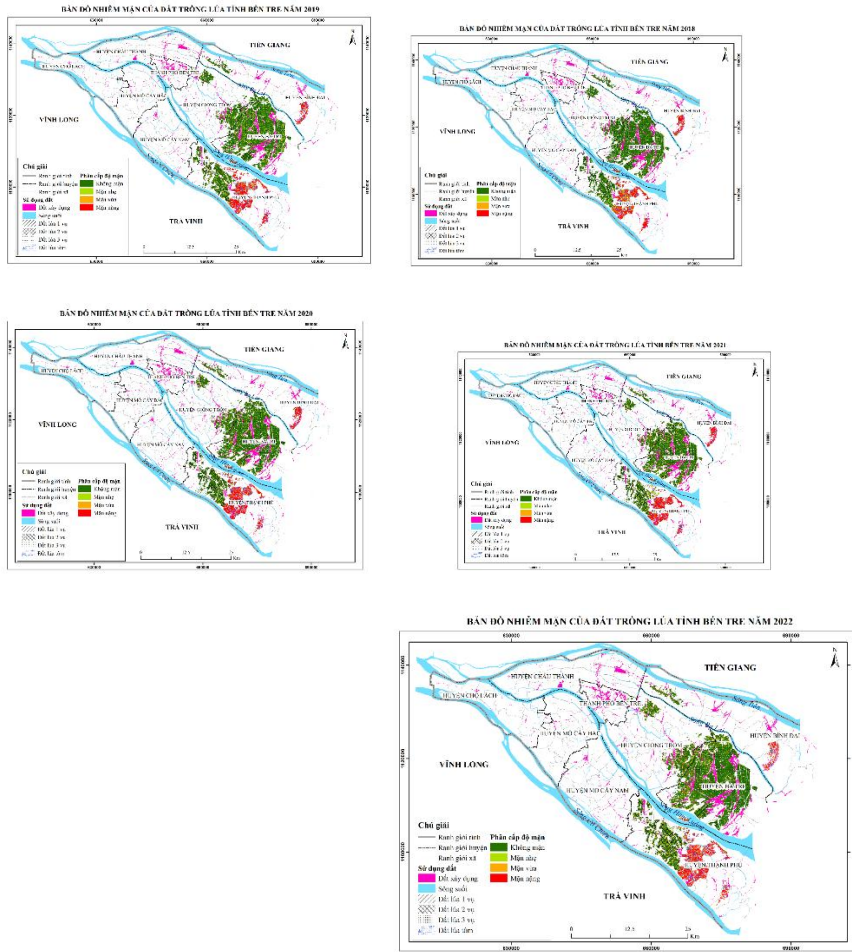
### 3.4. Thành lập bản đồ phân vùng nhiễm mặn các thời kỳ

Để đánh giá độ chính xác của các mô hình ước tính độ mặn thông qua chỉ số độ dẫn điện EC từ ảnh Sentinel-2 (S\_EC9) và ảnh LANDSAT (L\_EC8), đề tài sử dụng 30% dữ liệu EC đo đạc ngoài thực địa. Kết

qua đánh giá tương quan giữa EC mô hình và số liệu EC kiểm chứng được thể hiện qua hệ số xác định  $R^2$  và RSME. Trong cả hai mô hình tính từ Landsat và Sentinel-2, hệ số xác định đều đạt  $R^2 > 0,7$  và RMSE lần lượt là 2,06 và 1,69. Điều này cho thấy cả hai mô hình đều phù hợp để ước tính độ dẫn điện EC hay độ mặn trong đất ở khu vực nghiên cứu. Trong đó, mô hình S\_EC9 tính từ ảnh Sentinel-2 có hệ số tương quan cao hơn so với mô hình L\_EC8 tính từ ảnh LANDSAT, với  $R^2$  tương ứng là 0,826 và 0,77. Tuy nhiên, do mới được phóng lên quỹ đạo năm 2015, tư liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 không phù hợp để đánh giá diễn biến xâm nhập mặn qua các năm. Do đó, mô hình L\_EC8 của ảnh LANDSAT được áp dụng cho tính toán độ mặn khu vực nghiên cứu tỉnh Bến Tre trong các năm 2005, 2010 và 2015, 2018, 2020, 2022 theo 4 mức phân cấp độ mặn tương ứng với giá trị EC (dS/m) của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.

**3.4.1. Phân vùng nhiễm mặn đất trồng lúa**

Giám sát và theo dõi sự xâm nhập mặn trên đất trồng lúa của tỉnh Bến Tre sử dụng ảnh Sentinel-2 trong giai đoạn 2018-2022. Giá trị độ dẫn điện EC được xác định từ mô hình S\_EC7, từ đó phân cấp các giá trị EC để đưa ra được bản đồ phân cấp độ mặn trên đất trồng lúa của tỉnh Bến Tre.



Bản đồ phân bố nhiễm mặn trên đất lúa tỉnh Bến Tre 2018 đến 2022

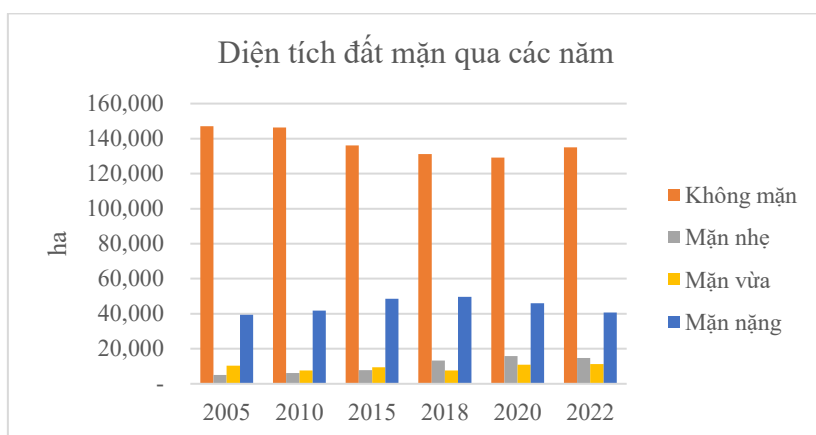
Các bản đồ phân bố mức độ xâm nhập mặn trên đất lúa của tỉnh Bến Tre từ năm 2018-2022 chiết xuất từ ảnh Sentinel\_2 tổ hợp mùa khô cho thấy sự thay đổi của các loại đất bị nhiễm mặn trên các diện tích đất trồng lúa khác nhau.

**3.4.2. Phân vùng nhiễm mặn toàn tỉnh Bến Tre**

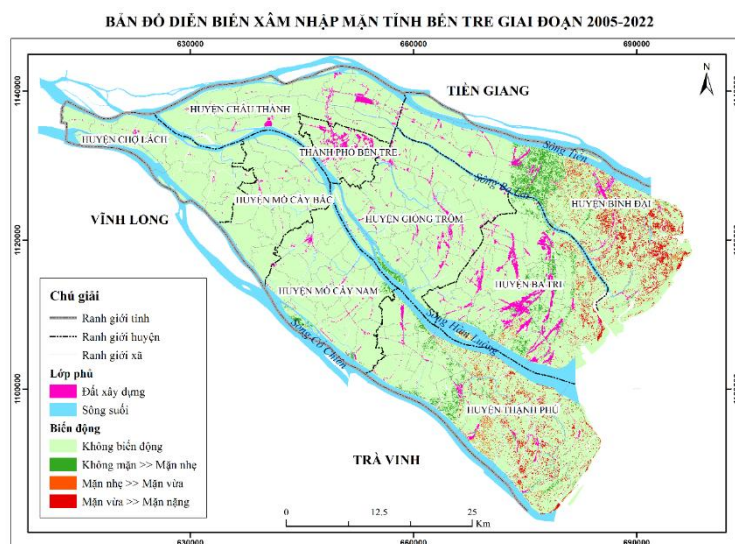
Mô hình ước tính L\_EC8 của ảnh LANDSAT được áp dụng để xác định giá trị EC của toàn tỉnh Bến Tre theo các năm. Thang phân cấp độ mặn của đất dựa trên sự phân cấp giá trị EC. Bản đồ phân vùng xâm nhập mặn của toàn tỉnh Bến Tre từ năm 2005-2022 được thể hiện như các hình ở dưới.



mỗi năm giảm đi 705ha/năm. Còn diện tích đất mặn tăng lên tương ứng: tăng nhiều nhất là diện tích đất mặn nhẹ: 9.648ha, tiếp đến là đất mặn nặng 1.337 ha, đất mặn vừa là 999ha.



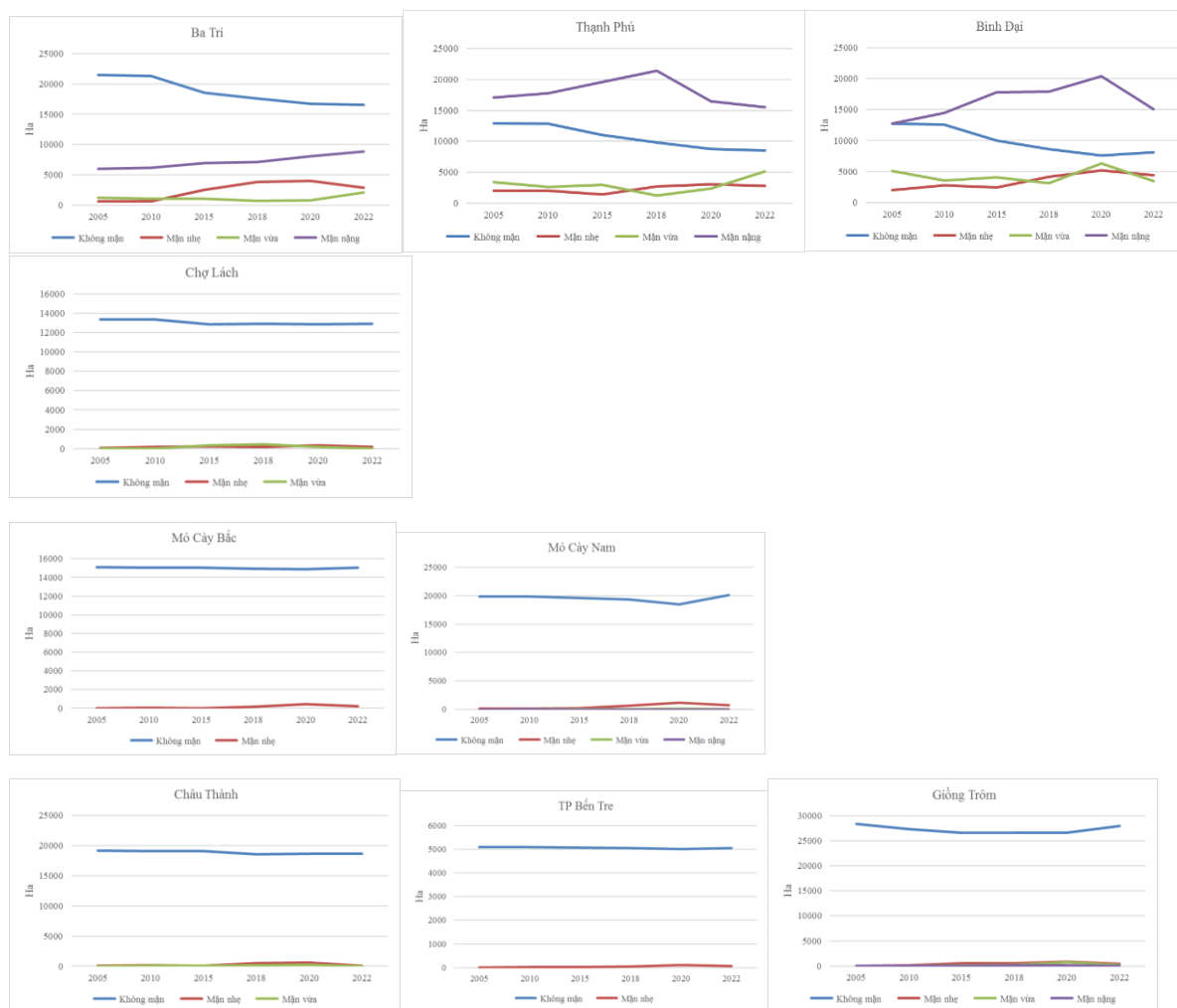
Hình 3-11: Sự thay đổi diện tích đất mặn tỉnh Bến Tre qua các năm



Bản đồ diễn biến nhiễm mặn tỉnh Bến Tre giai đoạn 2005-2022

Hình trên thể hiện sự thay đổi của các loại đất mặn của tỉnh Bến Tre từ năm 2005-2022. Sự biến động của các loại đất này là chuyển từ đất không mặn sang mặn nhẹ, đất mặn nhẹ sang mặn vừa và từ đất mặn vừa sang mặn nặng. Trong đó ở các huyện ven biển: Bình Đại, Ba Tri và Thạnh Phú thì quá trình chuyển đổi này diễn ra mạnh mẽ nhất. Sự chuyển đổi của đất không mặn sang mặn nhẹ là nhiều nhất: 8000ha, còn mặn vừa sang mặn nặng là 5.535ha. Diện tích đất chuyển từ mặn vừa sang mặn nặng là chủ yếu là những vùng nuôi trồng thủy hải sản nước lợ, vùng trồng 1 vụ lúa-1 vụ tôm chuyển sang nuôi tôm công nghiệp, người dân bơm trực tiếp nước mặn vào.

Sự phân bố diện tích đất bị nhiễm mặn trong mùa khô của từng huyện cũng có sự thay đổi qua các thời kỳ. Tùy thuộc vào từng loại thổ nhưỡng và loại hình sử dụng đất khác nhau mà mỗi huyện có diễn biến thay đổi các loại đất khác nhau. Với các huyện giáp biển thì có xu hướng tăng diện tích đất mặn vừa và nặng, còn với các huyện khác thì tăng diện tích đất mặn nhẹ và giảm diện tích đất không mặn.



## KẾT LUẬN

Kết quả thực hiện luận án “Nghiên cứu diễn biến và phân vùng nhiễm mặn tỉnh Bến Tre bằng công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian” đã rút ra một số kết luận và kiến nghị sau đây:

### KẾT LUẬN

1. Đất nhiễm mặn vẫn là một vấn đề nghiêm trọng trên toàn thế giới, ảnh hưởng đến môi trường tự nhiên, gây thiệt hại cho nông nghiệp, và an ninh lương thực. Do đó, việc thành lập bản đồ độ mặn của đất là rất quan trọng, nhằm cung cấp thông tin hữu ích về mức độ mặn của đất, có thể hữu ích cho việc lập kế hoạch và quản lý sử dụng đất. Công nghệ viễn thám đã và đang có những bước phát triển nhanh chóng mang lại những ứng dụng thiết thực cho cộng đồng. Các nguồn tư liệu viễn thám ngày càng đa dạng đòi hỏi có những nghiên cứu phát triển với phương pháp phù hợp để khai thác tối ưu thông tin viễn thám có thể mang lại.

Đánh giá diễn biến và phân vùng xâm nhập mặn ở khu vực nghiên cứu, cụ thể là đất sản xuất bị ảnh hưởng bởi mặn trên cơ sở khai thác công nghệ, dữ liệu viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian. Bên cạnh đó, sử dụng dữ liệu viễn thám đa phổ, đa thời gian kết hợp với số liệu thực địa cho phép ta theo dõi được xu thế biến động lớp phủ, theo dõi năng suất cây trồng, xác định các khu vực có phân bố cây chịu mặn, chịu lợ. Sự xuất hiện của các loại cây trồng hay thảm thực vật khác nhau cũng có những phản xạ riêng, đặc thù trên ảnh vệ tinh và các chỉ số tính toán được từ ảnh. Từ đó, tính toán được những ảnh chỉ số gián tiếp, giúp khoanh vùng ảnh hưởng và đánh giá được diễn thế của hiện tượng xâm nhập mặn hay sự mặn hóa của đất trên địa bàn

nghiên cứu. Ngoài ra việc sử dụng ảnh vệ tinh để theo dõi năng suất cây trồng cũng giúp nhà quản lý đánh giá chính xác được ảnh hưởng do xâm nhập mặn đến nền nông nghiệp của khu vực nghiên cứu.

2. Nghiên cứu đã ứng dụng thành công công nghệ tích hợp viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian này trong phân tích, đánh giá diễn thế và phân vùng xâm nhập mặn, thí điểm tại tỉnh Bến Tre. Đánh giá diễn thế xâm nhập mặn tại khu vực nghiên cứu, khoanh vùng được những khu vực xâm nhập mặn tại tỉnh Bến Tre.

Nghiên cứu ứng dụng viễn thám radar, thông qua 5 thuật toán học máy Multilayer perceptron neural network, Radial Basis Function neural networks, Gaussian Process, Support Vector Regression và Random Forest để phân tích tư liệu viễn thám radar Sentinel-1 SAR ước tính độ mặn của đất. Kết quả cho thấy mô hình sử dụng thuật toán Gaussian Process trên ảnh radar Sentinel-1 SAR cho kết quả có độ tương quan tốt nhất.

Nghiên cứu đánh giá xâm nhập mặn bằng viễn thám đa phổ sử dụng mô hình hồi quy đa biến khai thác 2 loại tư liệu ảnh vệ tinh LANDSAT và Sentinel-2 cho thấy kết quả tương quan tương đối cao. Mô hình hồi quy đa biến trên ảnh Sentinel-2 có hệ số tương quan R2 cao hơn chút ít so với mô hình hồi quy từ ảnh LANDSAT. Tuy nhiên, ảnh vệ tinh Sentinel-2 chỉ bắt đầu có từ năm 2015, trong khi vệ tinh LANDSAT đã có thời gian dài hoạt động liên tục, nối tiếp nhau, ảnh LANDSAT 5 có từ 1984, LANDSAT 8 có từ 2013. Do đó, nghiên cứu sinh đã ứng dụng khai thác tư liệu vệ tinh LANDSAT để đánh giá được diễn biến xâm nhập mặn khu vực Bến Tre từ năm 2005 đến năm 2022.

3. Kết quả đánh giá diễn thế xâm nhập mặn tại Bến Tre cho thấy sự thay đổi về không gian và thời gian. Tổng diện tích đất mặn có xu thế tăng dần từ năm 2005 đến 2022. Diễn biến đất mặn của tỉnh diễn ra theo quy luật tăng dần theo chiều từ đất liền ra bờ biển, từ đất không mặn sang đất mặn, từ đất mặn ít sang mặn nhiều.

## **KIẾN NGHỊ**

1. Từ năm 2015, việc sử dụng đất tại Bến Tre có những thay đổi đáng kể, cụ thể là chuyển đổi mục đích sử dụng đất từ tôm lúa sang chuyên tôm, từ đất trồng lúa sang nuôi trồng thủy hải hay nuôi tôm công nghiệp khiến nên diện tích đất mặn của tỉnh tăng. Bên cạnh đó, hệ thống thủy lợi của tỉnh vẫn chưa hoàn thiện và đồng bộ, nên vào mùa khô, thủy triều dâng cao kết hợp với gió chướng, nước từ thượng nguồn ít đã làm cho nước mặn có khả năng xâm nhập sâu vào đất liền theo các con sông, kênh. Ứng dụng kết quả của đề tài có thể kết hợp phân vùng ảnh hưởng của xâm nhập mặn để có các biện pháp ứng phó và lập các kế hoạch giảm tác hại của hiện tượng xâm nhập mặn và biến đổi khí hậu.

2. Nghiên cứu, đánh giá xâm nhập mặn trên cơ sở ứng dụng công nghệ viễn thám là một phương pháp khoa học hiệu quả cho phép theo dõi và đánh giá diễn biến xâm nhập mặn qua các thời kỳ trên một khu vực địa lý rộng lớn. NCS tiếp cận sử dụng tư liệu viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian là một phương pháp mới, hiện đại cho phép kết hợp được tính ưu việt của nhiều nguồn, nhiều loại dữ liệu với nhau nhằm bổ sung những hạn chế và tăng tính hiệu quả trong nghiên cứu, điều tra tài nguyên. Kết quả nghiên cứu và phương pháp khoa học của luận hoàn toàn có thể triển khai, ứng dụng cho những vùng địa lý khác nhau trong vấn đề nghiên cứu xâm nhập mặn.

### NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

1) Sử dụng tổ hợp các phương pháp, các loại dữ liệu viễn thám đa độ phân giải, đa thời gian, đa tầng và lựa chọn được phương pháp đánh giá phù hợp áp dụng để đánh giá và phân vùng ảnh hưởng nhiễm mặn tỉnh Bến Tre

2) Luận án đã tiến hành phân tích, đánh giá và tính toán ứng dụng các thuật toán học máy để đưa ra được các quy trình xây dựng bản đồ dựa trên tư liệu viễn thám đa tầng, đa thời gian, đa độ phân giải để xây dựng được các bản đồ phân vùng nhiễm mặn, bản đồ diễn biến nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Bến Tre

3) Kết quả của luận án đã phân tích và biểu diễn dưới dạng bản đồ diễn biến nhiễm mặn theo chu kỳ 5 năm và tính toán theo chu kỳ 17 năm

4) Luận án đã xác định được thuật toán học máy phù hợp và dữ liệu ảnh vệ tinh để có thể xây dựng, theo dõi diễn biến nhiễm mặn trên địa bàn toàn tỉnh Bến Tre và có thể áp dụng cho các tỉnh ven biển. Từ đó có thể giúp những nhà quản lý, cơ quan chức năng đánh giá được ảnh hưởng của nhiễm mặn dưới tác động của biến đổi khí hậu.

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ**

1. Lê Minh Hằng, Vũ Văn Trường, Lê Vũ Hồng Hải (2020); Nghiên cứu kết hợp tư liệu ảnh viễn thám quang học và ảnh Sentinel-1A đa thời gian trong phân loại lớp phủ khu vực Hà Nội; Tạp chí Khoa học - Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh Tập. 15 Số. 11(b) (2018); ISSN: 1859-3100.
2. Phạm Việt Hòa, Nguyen Vu Giang ,Nguyen An Binh ,Lê Vũ Hồng Hải ,Tien Dat Pham ,Mahdi Hasanlou, Dieu Tien Bui (2019); Soil Salinity Mapping Using SAR Sentinel-1 Data and Advanced Machine Learning Algorithms: A Case Study at Ben Tre Province of the Mekong River Delta (Vietnam); Remote Sens., EISSN 2072-4292, Published by MDPI.
3. Lê Minh Hằng , Lê Vũ Hồng Hải , Nguyễn Văn Dũng (2026); Đánh giá khả năng sử dụng chỉ số RVI(radar vegetation index) trên ảnh vệ tinh sentinel-1 trong giám sát lớp phủ thực vật, thử nghiệm tại tỉnh thanh hóa, việt nam; Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất; Số 1(2026); ISSN; 1859-1469