

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM

-----~\*~\*~\*~\*~\*-----

PHẠM THẾ VINH

**NGHIÊN CỨU VAI TRÒ CỦA BÃI TRIỀU  
ĐẾN MỨC NƯỚC VÀ LƯU LƯỢNG  
SÔNG SÀI GÒN - ĐỒNG NAI**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**  
**CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT TÀI NGUYÊN NƯỚC**

TP. HỒ CHÍ MINH, năm 2021

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

**VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM**

----------

PHẠM THẾ VINH

**NGHIÊN CỨU VAI TRÒ CỦA BÃI TRIỀU  
ĐẾN MỨC NƯỚC VÀ LƯU LƯỢNG  
SÔNG SÀI GÒN - ĐỒNG NAI**

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT TÀI NGUYÊN NƯỚC

MÃ SỐ: 9-58-02-12

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

GS.TSKH. NGUYỄN ÂN NIÊN

GS.TS. TĂNG ĐỨC THẮNG

TP. HỒ CHÍ MINH, năm 2021

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học độc lập của riêng tôi. Các số liệu sử dụng phân tích trong luận án có nguồn gốc rõ ràng, đã công bố theo đúng quy định. Các kết quả nghiên cứu trong luận án do tôi tự tìm hiểu, phân tích một cách trung thực, khách quan và phù hợp với thực tiễn của Việt Nam. Các kết quả này chưa từng được công bố trong bất kỳ nghiên cứu nào khác.

**Nghiên cứu sinh**



**Phạm Thế Vinh**

## **LỜI CẢM ƠN**

Tác giả xin chân thành cảm ơn Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình học tập nghiên cứu thực hiện luận án.

Tác giả xin chân thành cảm ơn sâu sắc tới GS. TSKH Nguyễn Ân Niên, người hướng dẫn khoa học của luận án. Sự giúp đỡ, động viên hết sức tận tình của Thầy là sự khích lệ lớn lao để tác giả hoàn thành luận án này. Đặc biệt, Thầy là người đã định hướng, gợi ý cho tác giả không những kiến thức đã trình bày trong luận án mà còn là người đã đưa ra các ý tưởng có liên quan đến công tác nghiên cứu về thủy văn, thủy lực trong khu vực Nam Bộ.

Tác giả xin chân thành cảm ơn sâu sắc GS.TS Tăng Đức Thắng, người hướng dẫn khoa học của luận án. Thầy đã tận tình chỉ dạy cho tác giả về cách giải quyết các nội dung của luận án. Trong công tác nghiên cứu, Thầy là tấm gương sáng để cho tác giả học hỏi không những về kiến thức mà còn cả trong tác phong nghiên cứu cũng như sự đam mê nghiên cứu khoa học.

Tác giả xin chân thành cảm ơn sâu sắc tới GS.TS Nguyễn Tất Đắc, đã tạo điều kiện cho tác giả được tham gia học tập các môn học trong quá trình nghiên cứu. Trong quá trình làm luận án, Thầy cũng đã có những ý kiến quý báu cho các nội dung trong luận án.

Tác giả xin chân thành cảm ơn sâu sắc tới TS Nguyễn Phú Quỳnh, TS Trịnh Thị Long đã tạo điều kiện cho tác giả về thời gian cũng như những kinh nghiệm thực tế để tác giả thực hiện luận án.

Tác giả xin chân thành cảm ơn tới Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, các bạn đồng nghiệp đã tạo điều kiện giúp đỡ tác giả trong quá trình công tác, cập nhật và trao đổi thông tin số liệu phục vụ nghiên cứu.

Cuối cùng, không thể thiếu được, là sự cảm ơn tới gia đình tác giả bởi sự động viên, khuyến khích, và là chỗ dựa tinh thần để tác giả vượt qua những khó khăn thử thách trong suốt quá trình nghiên cứu và học tập.

Xin chân thành cảm ơn!



## MỤC LỤC

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>MỞ ĐẦU .....</b>                                                            | <b>1</b>  |
| 1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN .....                                     | 1         |
| 2. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU .....                                                   | 3         |
| 3. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU .....                                       | 3         |
| 3.1. <i>Đối tượng nghiên cứu</i> .....                                         | 3         |
| 3.2. <i>Phạm vi nghiên cứu</i> .....                                           | 3         |
| 4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....                                                 | 4         |
| 5. Ý NGHĨA VÀ NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN .....                             | 5         |
| 5.1. <i>Ý nghĩa khoa học</i> .....                                             | 5         |
| 5.2. <i>Ý nghĩa thực tiễn</i> .....                                            | 5         |
| 5.3. <i>Những đóng góp mới của luận án</i> .....                               | 6         |
| 6. CẤU TRÚC CỦA LUẬN ÁN .....                                                  | 6         |
| <b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU.....</b>                                     | <b>8</b>  |
| 1.1. GIỚI THIỆU CHUNG.....                                                     | 8         |
| 1.1.1. <i>Giới thiệu chung về khu vực nghiên cứu</i> .....                     | 8         |
| 1.1.2. <i>Hiện trạng ngập và các nguyên nhân</i> .....                         | 10        |
| 1.2. VẤN ĐỀ QUAN TÂM CỦA LUẬN ÁN .....                                         | 15        |
| 1.2.1. <i>Nhận định về sự gia tăng đỉnh triều</i> .....                        | 15        |
| 1.2.2. <i>Khái niệm về đất ngập nước và bãi triều</i> .....                    | 16        |
| 1.2.3. <i>Phân loại về đất ngập nước và bãi triều</i> .....                    | 17        |
| 1.2.4. <i>Mối liên hệ giữa sông và bãi triều trong vùng nghiên cứu</i> .....   | 19        |
| 1.2.5. <i>Vấn đề quan tâm của luận án</i> .....                                | 24        |
| 1.3. CÁC NGHIÊN CỨU TRƯỚC ĐÂY .....                                            | 27        |
| 1.3.1. <i>Nghiên cứu trên thế giới</i> .....                                   | 27        |
| 1.3.2. <i>Nghiên cứu trong nước</i> .....                                      | 37        |
| 1.3.3. <i>Những vấn đề còn tồn tại trong các nghiên cứu trước</i> .....        | 43        |
| 1.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 1 .....                                                   | 44        |
| <b>CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ XÂY DỰNG CÔNG CỤ NGHIÊN CỨU</b><br><b>.....</b> | <b>46</b> |

|                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1. CƠ SỞ KHOA HỌC VỀ QUAN HỆ CỦA BÃI TRIỀU ĐẾN MỨC NƯỚC VÀ LƯU LƯỢNG .....                                                          | 46        |
| 2.1.1. Cơ sở phân tích khoa học .....                                                                                                 | 46        |
| 2.1.2. Tác động của bãi triều đến mực nước .....                                                                                      | 46        |
| 2.1.3. Tác động của bãi triều đến lưu lượng .....                                                                                     | 51        |
| 2.1.4. Tác động của mặt cắt lòng dẫn đến mực nước và lưu lượng .....                                                                  | 54        |
| 2.2. TÀI LIỆU PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU .....                                                                                                | 55        |
| 2.2.1. Tài liệu địa hình .....                                                                                                        | 55        |
| 2.2.2. Tài liệu khí tượng thủy văn .....                                                                                              | 55        |
| 2.2.3. Tài liệu sử dụng đất .....                                                                                                     | 57        |
| 2.2.4. Tài liệu ảnh viễn thám .....                                                                                                   | 58        |
| 2.3. CÔNG CỤ SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU .....                                                                                           | 58        |
| 2.3.1. Công cụ trong phân tích về cơ cấu sử dụng đất .....                                                                            | 58        |
| 2.3.2. Công cụ trong mô phỏng bãi triều .....                                                                                         | 59        |
| 2.3.3. Xây dựng mô hình thủy lực thử nghiệm .....                                                                                     | 60        |
| 2.3.4. Xây dựng mô hình thủy lực cho hạ lưu sông SG-ĐN .....                                                                          | 63        |
| 2.4. DIỄN BIẾN SỬ DỤNG ĐẤT KHU VỰC HẠ LƯU SÔNG SG-ĐN .....                                                                            | 71        |
| 2.4.1. Diễn biến sử dụng đất dựa trên tài liệu thu thập của các tỉnh .....                                                            | 71        |
| 2.4.2. Diễn biến sử dụng đất dựa trên tài liệu phân tích ảnh vệ tinh .....                                                            | 72        |
| 2.5. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2 .....                                                                                                          | 75        |
| <b>CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN .....</b>                                                                                | <b>77</b> |
| 3.1. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VỀ BIẾN ĐỘNG MỨC NƯỚC TRÊN SÔNG DỰA VÀO TÀI LIỆU THỰC ĐO .....                                                 | 77        |
| 3.1.1. Biến động mực nước lớn nhất năm .....                                                                                          | 77        |
| 3.1.2. Biến động mực nước lớn nhất trong tháng 5 .....                                                                                | 78        |
| 3.1.3. Hình dạng đường mặt nước dọc sông .....                                                                                        | 78        |
| 3.2. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU QUY LUẬT THAY ĐỔI CỦA BÃI TRIỀU ĐẾN MỨC NƯỚC VÀ LƯU LƯỢNG DỰA TRÊN MÔ PHỎNG MÔ HÌNH THỦY LỰC THỬ NGHIỆM ..... | 80        |
| 3.2.1. Luận giải các trường hợp tính .....                                                                                            | 80        |
| 3.2.2. Kết quả nghiên cứu trường hợp mở rộng bãi triều ven sông .....                                                                 | 83        |
| 3.2.3. Kết quả nghiên cứu trường hợp thay đổi diện tích bãi triều .....                                                               | 87        |

|                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.4. Kết quả nghiên cứu trường hợp thay đổi vị trí bãi triều .....                                         | 89         |
| 3.2.5. Kết quả nghiên cứu trường hợp thay đổi độ sâu bãi triều .....                                         | 94         |
| 3.2.6. Kết quả nghiên cứu trường hợp thay đổi diện tích mặt cắt sông .....                                   | 95         |
| 3.3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU TÁC ĐỘNG CỦA BÃI TRIỀU ĐẾN MỨC NƯỚC VÀ LƯU LƯỢNG HẠ LƯU SÔNG SÀI GÒN – ĐỒNG NAI..... | 98         |
| 3.3.1. Luận giải các kịch bản tính toán.....                                                                 | 98         |
| 3.3.2. Tác động của các khu sản xuất nông nghiệp thuộc hạ lưu sông SG-ĐN.....                                | 106        |
| 3.3.3. Tác động của các khu đất xây dựng thuộc hạ lưu sông SG-ĐN.....                                        | 107        |
| 3.3.4. Tác động tích hợp của đất xây dựng và nông nghiệp hạ lưu sông SG-ĐN.....                              | 109        |
| 3.3.5. Dự báo gia tăng mực nước khi mất các bãi triều trên hạ lưu sông SG-ĐN.....                            | 111        |
| 3.3.6. Dự báo gia tăng mực nước khi xét đến biến đổi khí hậu.....                                            | 112        |
| 3.3.7. Tác động của việc phát triển Khu Nam Sài Gòn.....                                                     | 114        |
| 3.3.8. Giải pháp giảm thiểu tác động của gia tăng mực nước đỉnh triều .....                                  | 119        |
| 3.4. KẾT QUẢ XÂY DỰNG TƯƠNG QUAN GIỮA DIỆN TÍCH VÀ VỊ TRÍ BÃI TRIỀU VỚI MỨC NƯỚC LỚN NHẤT TRÊN SÔNG .....    | 122        |
| 3.4.1. Luận giải các trường hợp tính toán.....                                                               | 122        |
| 3.4.2. Kết quả nghiên cứu phân tích.....                                                                     | 125        |
| 3.5. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3 .....                                                                                 | 127        |
| <b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....</b>                                                                           | <b>130</b> |
| KẾT LUẬN .....                                                                                               | 130        |
| HƯỚNG PHÁT TRIỂN TIẾP THEO .....                                                                             | 133        |
| <b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>                                                                              | <b>134</b> |

## DANH MỤC CÁC KÍ HIỆU THUẬT NGỮ KHOA HỌC

| Ký hiệu                                  | Viết đầy đủ / Ý nghĩa                                      |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Các tổ chức quốc tế và trong nước</b> |                                                            |
| JICA                                     | Cơ quan Hợp tác quốc tế Nhật Bản                           |
| NGO                                      | Tổ chức phi chính phủ                                      |
| UN                                       | Liên hợp quốc                                              |
| WB                                       | Ngân hàng thế giới                                         |
| MRC                                      | Ủy ban sông Mê Công                                        |
| <b>Các thuật ngữ viết tắt</b>            |                                                            |
| BĐKH                                     | Biến đổi khí hậu                                           |
| NBD                                      | Nước biển dâng                                             |
| KB                                       | Kịch bản                                                   |
| TH                                       | Trường hợp                                                 |
| PTLT                                     | Phương trình liên tục                                      |
| PTĐL                                     | Phương trình động lượng                                    |
| KTTV                                     | Khí tượng thủy văn                                         |
| nnk                                      | Những người khác                                           |
| SG-ĐN                                    | Sài Gòn - Đồng Nai                                         |
| ĐBSCL                                    | Đồng bằng sông Cửu Long                                    |
| TPHCM                                    | Thành Phố Hồ Chí Minh                                      |
| QCVN                                     | Quy chuẩn Việt Nam                                         |
| TCVN                                     | Tiêu chuẩn Việt Nam                                        |
| <b>Các mô hình và công cụ phân tích</b>  |                                                            |
| ENVI                                     | Phần mềm phân tích ảnh vệ tinh                             |
| GIS                                      | Hệ thống thông tin địa lý                                  |
| MIKE 11                                  | Phần mềm tính toán thủy lực 1 chiều (của DHI)              |
| MIKE 21                                  | Phần mềm tính toán thủy lực 2 chiều (của DHI)              |
| MIKE FLOOD                               | Phần mềm tính toán thủy lực kết hợp 1 và 2 chiều (của DHI) |
| NAM                                      | Phần mềm tính toán mưa - dòng chảy (của DHI)               |
| KOD                                      | Phần mềm tính toán thủy lực (của Nguyễn Ân Niên)           |

| Ký hiệu                     | Viết đầy đủ / Ý nghĩa                                                                                              |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VR SAP                      | Phần mềm tính toán thủy lực (của Nguyễn Như Khuê)                                                                  |
| SAL                         | Phần mềm tính toán thủy lực (của Nguyễn Tất Đắc)                                                                   |
| TELEMAC                     | Phần mềm tính toán thủy lực (của Tập đoàn Điện lực Pháp)                                                           |
| <b>Các ký hiệu khoa học</b> |                                                                                                                    |
| Q                           | Lưu lượng mặt cắt                                                                                                  |
| q                           | Lưu lượng đơn vị, dòng nhập lưu                                                                                    |
| A                           | Diện tích mặt cắt                                                                                                  |
| F                           | Diện tích bãi triều                                                                                                |
| H                           | Độ sâu mực nước                                                                                                    |
| Z                           | Cao trình mực nước                                                                                                 |
| $\Delta Z$                  | Độ giảm mực nước                                                                                                   |
| $i_x$                       | Độ dốc đáy                                                                                                         |
| $j_x$                       | Độ dốc thủy lực                                                                                                    |
| t                           | Thời gian                                                                                                          |
| $B_c$                       | Bề rộng mặt cắt sông và bãi                                                                                        |
| B                           | Bề rộng mặt cắt sông                                                                                               |
| $B_{bãi}$                   | Bề rộng mặt cắt bãi                                                                                                |
| $\eta$                      | Biên độ sóng                                                                                                       |
| $\omega$                    | Tần số góc ( $\omega = 2\pi/T$ )                                                                                   |
| c                           | Vận tốc truyền sóng ( $c=L/T= \omega/k$ )                                                                          |
| k                           | Số sóng ( $k= 2\pi/L$ )                                                                                            |
| T                           | Chu kỳ sóng                                                                                                        |
| L                           | Chiều dài sóng                                                                                                     |
| g                           | Gia tốc trọng trường                                                                                               |
| $r_b$                       | Tỷ lệ giữa bề rộng sông và bề rộng sông tính cả bãi triều ( $r_b = \frac{B}{B + B_{bãi}}$ )                        |
| $\beta_b$                   | Tỷ lệ giữa độ giảm biên độ sóng và biên độ sóng khi có bãi triều ( $\beta_b = \frac{\hat{\eta}_r}{\hat{\eta}_1}$ ) |

## DANH MỤC CÁC BẢNG

|                                                                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Bảng 1-1: Hệ thống phân loại đất ngập nước của Ủy ban sông Mê Công .....</i>                                                                    | <i>17</i>  |
| <i>Bảng 3-1: Mức độ gia tăng mực nước lớn nhất năm tại các trạm thủy văn.....</i>                                                                  | <i>77</i>  |
| <i>Bảng 3-2: Các kịch bản tính trong mô hình thủy lực thử nghiệm .....</i>                                                                         | <i>82</i>  |
| <i>Bảng 3-3: Cơ cấu sử dụng đất thuộc khu vực Nam Sài Gòn năm 2015 .....</i>                                                                       | <i>104</i> |
| <i>Bảng 3-4: Các kịch bản tính toán cho hạ lưu sông SG-ĐN.....</i>                                                                                 | <i>106</i> |
| <i>Bảng 3-5: Tác động của các khu nông nghiệp đến mực nước lớn nhất tại các vị trí.....</i>                                                        | <i>107</i> |
| <i>Bảng 3-6: Tác động của khu đất xây dựng đến mực nước lớn nhất các vị trí.....</i>                                                               | <i>108</i> |
| <i>Bảng 3-7: Tác động của thay đổi cơ cấu sử dụng đất đến mực nước lớn nhất.....</i>                                                               | <i>109</i> |
| <i>Bảng 3-8: Kết quả kịch bản nghiên cứu về ảnh hưởng của các khu trũng còn lại đến mực nước lớn nhất các vị trí.....</i>                          | <i>112</i> |
| <i>Bảng 3-9: Các trường hợp giảm thiểu tác động của gia tăng mực nước đỉnh triều .....</i>                                                         | <i>120</i> |
| <i>Bảng 3-10: Kết quả mực nước lớn nhất các vị trí ứng với các trường hợp tính .....</i>                                                           | <i>122</i> |
| <i>Bảng 3-11: Quan hệ diện tích và cao độ bãi triều tại vị trí cách Phú An 15 km.....</i>                                                          | <i>124</i> |
| <i>Bảng 3-12: Các trường hợp tính xác định tương quan giữa kích thước và vị trí bãi triều với mực nước lớn nhất trên sông .....</i>                | <i>124</i> |
| <i>Bảng 3-13: Kết quả các trường hợp tính xác định tương quan giữa kích thước và vị trí bãi triều với độ giảm mực nước lớn nhất trên sông.....</i> | <i>125</i> |
| <i>Bảng 3-14: Kết quả các phương trình tương quan giữa kích thước và vị trí bãi triều với độ giảm mực nước lớn nhất trên sông .....</i>            | <i>127</i> |

## DANH MỤC CÁC HÌNH

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Hình 0-1: Phạm vi khu vực nghiên cứu .....                                                                                 | 4  |
| Hình 1-1: Bản đồ lưu vực sông Đồng Nai và hạ lưu sông SG-ĐN.....                                                           | 8  |
| Hình 1-2: Dạng thủy triều biển Đông.....                                                                                   | 9  |
| Hình 1-3: Mức nước lớn nhất năm tại Phú An.....                                                                            | 11 |
| Hình 1-4: Các nguyên nhân gây ngập được chỉ ra trong trong các nghiên cứu trước.....                                       | 12 |
| Hình 1-5: Lưu lượng trung bình ngày lớn nhất tại Trị An từ năm 1980 - 2016.....                                            | 13 |
| Hình 1-6: Lượng mưa ngày lớn nhất tại Tân Sơn Hoà từ năm 1986 - 2018.....                                                  | 13 |
| Hình 1-7: Lượng mưa ngày lớn nhất tại Tân Sơn Hoà từ năm 1994 - 2015.....                                                  | 14 |
| Hình 1-8: Kết quả biến dạng mặt đất theo điểm PS.....                                                                      | 14 |
| Hình 1-9: Các dạng bãi triều ven sông chính và sông nhánh .....                                                            | 19 |
| Hình 1-10: Phân vùng đoạn sông ảnh hưởng triều - lũ sông Sài Gòn .....                                                     | 20 |
| Hình 1-11: Xác định các bãi triều dựa trên bản đồ sử dụng đất năm 2015.....                                                | 21 |
| Hình 1-12: Phân bố các bãi triều tính đến năm 2015 dựa trên phân tích ảnh vệ tinh.....                                     | 22 |
| Hình 1-13: Phân bố các bãi triều tính đến năm 1980 dựa trên phân tích ảnh vệ tinh.....                                     | 23 |
| Hình 1-14: Bãi triều tự nhiên trong khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN.....                                                 | 24 |
| Hình 1-15: Minh họa các công trình cống hở và cống bọng bảo vệ khu sản xuất nông nghiệp vùng bờ Hữu ven sông Sài Gòn ..... | 25 |
| Hình 1-16: Minh họa các dự án đô thị đã và đang triển khai trên địa bàn Thành Phố Hồ Chí Minh.....                         | 26 |
| Hình 1-17: Mức nước trong bãi và ngoài sông khi cống qua đường giao thông nhỏ.....                                         | 27 |
| Hình 1-18: Vị trí các trạm đo mực nước phía bắc vùng đồng bằng sông Rhine-Meuse .....                                      | 28 |
| Hình 1-19: Đập Zuider Zee và hồ IJsselmeer tại Hà Lan .....                                                                | 28 |
| Hình 1-20: Những khu vực lên đê bao bảo vệ và san lấp từ năm 1650 đến 1968 thuộc đồng bằng sông Schelde, Hà Lan .....      | 29 |
| Hình 1-21: Gia tăng mực nước từ năm 1650 đến 1968 dọc sông Schelde, Hà Lan.....                                            | 29 |
| Hình 1-22: Minh họa các ký hiệu trong hệ phương trình St. Venant .....                                                     | 35 |
| Hình 1-23: Minh họa các thông số của sông.....                                                                             | 37 |
| Hình 1-24: Vị trí bãi triều trong hệ thống sông.....                                                                       | 40 |
| Hình 1-25: Sơ đồ dòng chảy giữa sông và các ô ruộng trữ.....                                                               | 42 |
| Hình 2-1: Mặt cắt ngang sông điển hình.....                                                                                | 47 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Hình 2-2: Minh hoạ các tham số của sóng triều .....                                                       | 48 |
| Hình 2-3: Minh hoạ phản xạ sóng do độ sâu thay đổi .....                                                  | 49 |
| Hình 2-4: Minh hoạ bị hấp thụ sóng do bãi triều thay đổi.....                                             | 51 |
| Hình 2-5: Quan hệ giữa bề rộng bãi triều với độ giảm biên độ triều và lưu lượng đơn vị vào bãi triều..... | 52 |
| Hình 2-6: Quan hệ giữa $r_b$ với độ giảm biên độ triều và lưu lượng vào bãi triều.....                    | 53 |
| Hình 2-7: Quan hệ giữa $r_b$ với $\beta_b$ .....                                                          | 53 |
| Hình 2-8: Bãi triều ven sông và bãi triều trong dòng nhập lưu .....                                       | 54 |
| Hình 2-9: Bản đồ cao độ số tỷ lệ 1/10.000 vùng hạ lưu SG-ĐN .....                                         | 56 |
| Hình 2-10: Mực nước thực đo tại Vũng Tàu từ năm 1980 đến năm 2018.....                                    | 56 |
| Hình 2-11: Lưu lượng thực đo tại một số trạm đo tăng cường năm 2008 .....                                 | 57 |
| Hình 2-12: Minh hoạ ảnh vệ tinh qua các năm .....                                                         | 58 |
| Hình 2-13: Phần mềm phân tích ảnh vệ tinh.....                                                            | 59 |
| Hình 2-14: Mô hình thử nghiệm được xây dựng trong luận án.....                                            | 60 |
| Hình 2-15: Mặt cắt thực đo tại cửa sông Sài Gòn và Đồng Nai .....                                         | 61 |
| Hình 2-16: Mặt cắt mở rộng tại các đoạn sông trong mô hình thử nghiệm.....                                | 61 |
| Hình 2-17: Mặt cắt mở rộng tại 1 đoạn sông tại Phú An trong mô hình thử nghiệm .....                      | 61 |
| Hình 2-18: Bãi triều biệt lập tại một vị trí trong mô hình thử nghiệm.....                                | 62 |
| Hình 2-19: Phân bố các trạm mưa vùng hạ lưu sông SG-ĐN.....                                               | 63 |
| Hình 2-20: Sơ đồ thủy lực một chiều khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN.....                                | 64 |
| Hình 2-21: Sơ đồ thủy lực 2 chiều (MIKE 21) hạ lưu SG-ĐN .....                                            | 65 |
| Hình 2-22: Sơ đồ thủy lực kết nối 1 và 2 chiều (MIKE FLOOD) vùng nghiên cứu .....                         | 66 |
| Hình 2-23: Quan hệ về cao độ và diện tích trong mô hình thể hiện cho bãi triều .....                      | 67 |
| Hình 2-24: Quan hệ giữa thể tích và diện tích của bãi triều.....                                          | 67 |
| Hình 2-25: Thiết lập các kết nối bên khu vực ngã ba sông SG-ĐN.....                                       | 68 |
| Hình 2-26: Minh hoạ phần sông khu Nam Sài Gòn đã được cắt đi trong MIKE 21 .....                          | 68 |
| Hình 2-27: Minh hoạ phần sông khu Nam Sài Gòn trong MIKE 11 .....                                         | 69 |
| Hình 2-28: Minh hoạ vị trí các điểm hiệu chỉnh mô hình.....                                               | 70 |
| Hình 2-29: Thay đổi diện tích sử dụng đất ở tại các tỉnh.....                                             | 71 |
| Hình 2-30: Thay đổi diện tích đất mặt nước tại các tỉnh.....                                              | 71 |
| Hình 2-31: Thay đổi diện tích sử dụng đất xây dựng từ năm 1980 - 2015.....                                | 72 |
| Hình 2-32: Bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2015 phân tích từ ảnh vệ tinh.....                           | 73 |



|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Hình 2-33: Sự suy giảm bãi triều từ năm 1980 đến năm 2015.....                                                                             | 74 |
| Hình 3-1: Đường mực nước trung bình lớn nhất thực đo dọc sông cả năm và tháng 5.....                                                       | 78 |
| Hình 3-2: Đường mực nước lớn nhất năm năm 1981 và năm 2018.....                                                                            | 79 |
| Hình 3-3: Mức độ gia tăng mực nước trung bình lớn nhất năm và lớn nhất tháng 5.....                                                        | 79 |
| Hình 3-4: Đoạn sông mở rộng mặt cắt trong mô hình thử nghiệm.....                                                                          | 81 |
| Hình 3-5: Các bãi triều giả định trong các trường hợp tính.....                                                                            | 81 |
| Hình 3-6: Diện tích mặt cắt ướt tại cửa Soài Rạp hiện trạng và mở rộng mặt cắt.....                                                        | 83 |
| Hình 3-7: Quá trình mực nước tại Phú An trong các trường hợp mở rộng bãi triều.....                                                        | 83 |
| Hình 3-8: Mực nước lớn nhất và nhỏ nhất tại các vị trí khi bề rộng bãi triều 600m.....                                                     | 84 |
| Hình 3-9: Mực nước lớn nhất và nhỏ nhất tại Phú An và Nhà Bè trong các trường hợp mở rộng bãi triều ven sông.....                          | 85 |
| Hình 3-10: Độ lệch pha giữa đỉnh triều và chân triều tại Phú An trong các trường hợp mở rộng bãi triều ven sông.....                       | 85 |
| Hình 3-11: Lưu lượng cực trị và tỷ lệ gia tăng lưu lượng cực trị tại cửa sông trong các trường hợp mở rộng bãi triều ven sông.....         | 86 |
| Hình 3-12: Thay đổi mực nước trường hợp có và không có bãi triều.....                                                                      | 87 |
| Hình 3-13: Mực nước thực đo tại trạm Phú An từ năm 1980 đến năm 2018.....                                                                  | 87 |
| Hình 3-14: Thay đổi mực nước lớn nhất và nhỏ nhất khi diện tích bãi triều tại Thanh Đa thay đổi.....                                       | 88 |
| Hình 3-15: Thay đổi mực nước lớn nhất tại Phú An khi thay đổi diện tích bãi triều.....                                                     | 88 |
| Hình 3-16: Thay đổi mực nước đỉnh triều lớn nhất trên sông tại Phú An.....                                                                 | 89 |
| Hình 3-17: Thay đổi mực nước lớn nhất tại các bãi triều giả định.....                                                                      | 90 |
| Hình 3-18: Thay đổi mực nước lớn nhất tại các vị trí khi giả thiết bãi triều tại Nhà Bè và Thủ Dầu Một.....                                | 90 |
| Hình 3-19: Thay đổi tổng lượng tích lũy qua bãi triều khi thay đổi vị trí bãi triều trong một chu kỳ triều.....                            | 91 |
| Hình 3-20: Tổng lượng trong 01 chu kỳ triều và tỷ lệ tổng lượng của bãi triều với tổng lượng sông tại vị trí bãi triều.....                | 93 |
| Hình 3-21: Thay đổi lưu lượng thượng lưu và hạ lưu bãi triều tại Phú An.....                                                               | 93 |
| Hình 3-22: Tương quan biến đổi mực nước lớn nhất, nhỏ nhất và cao trình bãi thay đổi tại vị trí ứng với chân triều -1,5m (tại Phú An)..... | 94 |

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Hình 3-23: Tương quan biến đổi mực nước lớn nhất, nhỏ nhất và cao trình bãi thay đổi tại vị trí ứng với chân triều -0,5 m (tại Thủ Dầu Một)..... | 95  |
| Hình 3-24: Quá trình mực nước tại Phú An trong trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt 10% .....                                                | 95  |
| Hình 3-25: Mực nước lớn nhất dọc sông trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt.....                                                              | 96  |
| Hình 3-26: Mực nước nhỏ nhất trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt .....                                                                      | 96  |
| Hình 3-27: Lưu lượng cửa Soài Rạp trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt.....                                                                  | 97  |
| Hình 3-28: Gia tăng lưu lượng cực trị tại cửa sông trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt.....                                                 | 97  |
| Hình 3-29: Minh họa khu vực sản xuất nông nghiệp dựa trên bản đồ sử dụng đất.....                                                                | 99  |
| Hình 3-30: Minh họa khu đất xây dựng dựa trên bản đồ sử dụng đất .....                                                                           | 100 |
| Hình 3-31: Quan hệ diện tích và cao độ khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN.....                                                                    | 101 |
| Hình 3-32: Quan hệ diện tích và cao độ khu vực Cần Giờ .....                                                                                     | 102 |
| Hình 3-33: Quan hệ diện tích và cao độ khu vực vùng trũng còn lại có tương tác với triều hạ lưu sông SG-ĐN (chưa tính khu vực Cần Giờ).....      | 102 |
| Hình 3-34: Khu vực Nam Sài Gòn thuộc Thành Phố Hồ Chí Minh .....                                                                                 | 103 |
| Hình 3-35: Bản đồ hiện trạng sử dụng đất Khu vực Nam Sài Gòn năm 2015 .....                                                                      | 104 |
| Hình 3-36: Ảnh vệ tinh Khu vực Nam Sài Gòn năm 1986 và năm 2015 .....                                                                            | 105 |
| Hình 3-37: Quan hệ cao độ - diện tích các bãi triều khu vực Nam Sài Gòn.....                                                                     | 105 |
| Hình 3-38: Mực nước tại Phú An khi chưa (KB1) và có (HT) các khu nông nghiệp .....                                                               | 107 |
| Hình 3-39: Mực nước tại Phú An khi chưa (KB2) và có (HT) các khu đất xây dựng .....                                                              | 108 |
| Hình 3-40: Mực nước lớn nhất hiện trạng (HT) và khi xét đến tác động của đất nông nghiệp (KB1) và xây dựng (KB2) .....                           | 108 |
| Hình 3-41: Mực nước tại Biên Hòa có xét đến tác động thay đổi cơ cấu sử dụng đất .....                                                           | 109 |
| Hình 3-42: Mực nước lớn nhất hiện trạng (HT) và khi chưa thu hẹp bãi triều (KB3).....                                                            | 110 |
| Hình 3-43: Đường mực nước lớn nhất khi chưa thu hẹp bãi triều .....                                                                              | 110 |
| Hình 3-44: Lưu lượng hiện trạng (H.T) và chưa thu hẹp bãi triều (KB3).....                                                                       | 111 |
| Hình 3-45: Dự báo độ gia tăng mực nước trên sông khi không còn các khu trũng .....                                                               | 112 |
| Hình 3-46: Dự báo mực nước các sông đến năm 2030 và 2050 .....                                                                                   | 113 |
| Hình 3-47: Mực nước tại Phú An trong trường hợp khu Nam Sài Gòn không còn bãi triều và có bãi triều trên toàn diện tích.....                     | 115 |

|                                                                                                                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Hình 3-48: Quan hệ mực nước đỉnh triều lớn nhất tại các vị trí và phần trăm diện tích bãi triều của khu Nam Sài Gòn.....</i>                           | <i>115</i> |
| <i>Hình 3-49: Quan hệ giữa độ gia tăng mực nước đỉnh triều lớn nhất tại các vị trí và phần trăm diện tích bãi triều còn lại của khu Nam Sài Gòn .....</i> | <i>116</i> |
| <i>Hình 3-50: Quá trình lưu lượng tại Phú An trường hợp bãi triều còn 100% và khi không còn bãi triều.....</i>                                            | <i>117</i> |
| <i>Hình 3-51: Quá trình lưu lượng tại Nhà Bè trường hợp bãi triều còn 100% và khi không còn bãi triều.....</i>                                            | <i>117</i> |
| <i>Hình 3-52: Quá trình lưu lượng tại Hiệp Phước trường hợp bãi triều còn 100% và khi không còn bãi triều .....</i>                                       | <i>118</i> |
| <i>Hình 3-53: Lưu lượng lớn nhất tại các vị trí trong các trường hợp bãi triều suy giảm diện tích .....</i>                                               | <i>118</i> |
| <i>Hình 3-54: Tổng lượng qua các kênh rạch vào khu Nam Sài Gòn trong một chu kỳ triều ứng với các trường hợp bãi triều suy giảm diện tích.....</i>        | <i>119</i> |
| <i>Hình 3-55: Khu vực đất nông nghiệp sử dụng làm bãi triều tự nhiên.....</i>                                                                             | <i>121</i> |
| <i>Hình 3-56: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 15 km.....</i>                                                                                  | <i>123</i> |
| <i>Hình 3-57: Quan hệ giữa độ giảm mực nước lớn nhất tại Phú An khi thay đổi vị trí tính từ Phú An đến Hiệp Phước và diện tích bãi triều .....</i>        | <i>126</i> |

## **MỞ ĐẦU**

### **1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN**

Vùng hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai (SG-ĐN), một khu vực năng động và thân thiện, đồng thời cũng là trung tâm kinh tế, giáo dục, văn hoá, khoa học - công nghệ quan trọng của phía Nam nói riêng và cả nước nói chung. Là khu vực đông dân và giữ vai trò đầu tàu kinh tế của cả nước, nơi thu hút vốn đầu tư của nước ngoài, với nhiều khu công nghiệp hiện đại. Hệ thống sông rạch khá thuận tiện cho việc di chuyển. Hệ thống sông chính khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN bao gồm các sông chủ yếu như sông Đồng Nai, sông Sài Gòn, sông Vàm Cỏ. Đây là một vùng có địa hình phần lớn tương đối thấp, mạng lưới sông rạch dày, chịu ảnh hưởng mạnh của thủy triều, các công trình xây dựng trên nền đất có cao trình thấp khá nhiều. Trong những năm gần đây, tình hình ngập úng xảy ra liên tục và đang là mối quan tâm lớn của các đô thị, nhất là ở Thành Phố Hồ Chí Minh (TPHCM), Đồng Nai và Bình Dương.

Theo các số liệu thống kê, mực nước lớn nhất thực đo tại các trạm thủy văn thuộc hạ lưu sông SG-ĐN trước năm 2000 không có nhiều biến động. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, mực nước lớn nhất đang có xu hướng gia tăng mạnh gây ngập trên diện rộng. Các mốc mực nước lớn nhất lịch sử liên tục được xác lập theo từng năm. Điển hình tại trạm thủy văn Phú An thuộc TPHCM, mực nước lớn nhất năm 2000 là +1,43 m; năm 2002 đạt +1,45 m; năm 2008 đã đạt +1,55 m, năm 2012 đạt +1,61 m, năm 2013 lên tới +1,68 m, năm 2017 lên +1,71 m và đến năm 2019 đạt mốc lịch sử +1,74 m [1]. Mực nước gia tăng trong khu vực làm cho những vùng có cao trình thấp thường xuyên bị ngập do triều. Tại những vùng đất được bảo vệ bởi bờ bao, hiện tượng nước tràn qua bờ bao và thậm chí vỡ bờ bao xảy ra khá nhiều. Tại những con đường ven sông thường xuyên bị triều cường gây ngập tác động xấu đến sinh hoạt và sản xuất của người dân. Các công trình thủy lợi đã và đang thi công xây dựng cũng cho thấy khả năng đáp ứng kém khi nhìn vào góc độ mực nước dâng cao ngoài sông. Một số công trình điển hình như (i) cống Rạch Lăng được thiết kế với cao trình đỉnh cửa van là +1,80 m mà đến năm 2013 mực nước đã xấp xỉ đỉnh cửa van); (ii) cống Thủ Đức

thiết kế với cao trình đỉnh đê bao để phục vụ thi công là +1,70 m, khi gặp đợt triều cường năm 2012 (+1,61 m), nước đã tràn qua bờ bao gây khó khăn cho thi công; (iii) công trình kè Thanh Đa được thiết kế với cao trình đỉnh +2,00 m, hiện nay mực nước đã xấp xỉ đỉnh kè; (iv) dự án đê bao bờ hữu sông Sài Gòn đã được thi công với cao trình đỉnh đê là +2,20 m, cũng còn khá thấp khi mực nước ngoài sông có xu hướng tăng lên như hiện nay... Ngay cả những dự án lớn, có sự tham gia của tư vấn nước ngoài như dự án “Quy hoạch tổng thể thoát nước đến 2020”, Thủ tướng Chính Phủ đã phê duyệt vào năm 2001 (Dự án 752) nhằm cải tạo, xây dựng hệ thống thoát nước mưa trong khu vực nội thành cũng chỉ tính toán thiết kế với mực nước lớn nhất ngoài sông là +1,32 m nhưng hiện nay mực nước tại Phú An đã vượt qua con số này rất nhiều. Như vậy, việc mực nước lớn nhất gia tăng trong những năm gần đây làm cho việc ứng phó với ngập gặp không ít khó khăn kể cả với đơn vị có kinh nghiệm chuyên môn cao.

Biến động mực nước trên sông là một vấn đề phức tạp, chịu tác động của nhiều yếu tố. Các nguyên nhân chủ yếu gây gia tăng mực nước lớn nhất trên sông có thể kể đến: (i) Mưa lớn; (ii) Triều cường; (iii) Lũ thượng lưu; (iv) Biến đổi khí hậu; (v) Đô thị hoá; (vi) Lún nền. Theo các số liệu thống kê tại một số trạm đo mực nước triều thuộc khu vực đồng bằng ven biển, sự gia tăng về mực nước lớn nhất tại các trạm do tác động của nước biển dâng là rất rõ. Tuy nhiên, khi so sánh với sự gia tăng mực nước lớn nhất trong sông thì mức độ gia tăng này thấp hơn nhiều và không đồng nhất tại các khu vực. Ví dụ, tại ĐBSCL, sự gia tăng mực nước lớn nhất thực đo từ năm 1982 đến 2015 tại Mỹ Thanh là 0,9 cm/năm nhưng mực nước lớn nhất thực đo tại Cần Thơ gia tăng là 1,8 cm/năm. Tại hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN, xét từ năm 1980 đến 2015, mực nước lớn nhất thực đo tại Vũng Tàu tăng 0,45 cm/năm; Nhà Bè tăng 1,03 cm/năm; Phú An tăng 1,21 cm/năm [2]. Hậu quả là tình trạng ngập do triều tại các khu vực này ngày càng trầm trọng. Thực tế hiện nay do nhu cầu của phát triển kinh tế, các khu vực đồng bằng ven biển có nhiều lợi thế nên địa hình địa mạo của những khu vực này đã thay đổi đáng kể, những khu vực ngập triều và bán ngập triều trước đây không những được thay thế bằng các khu công nghiệp, khu dân cư mà còn được

xây dựng đê bao bảo vệ để sản xuất nông nghiệp với quy mô lớn. Các hoạt động này làm thu hẹp hoặc làm mất đi các bãi triều và đây có thể là một trong những nguyên nhân làm cho mực nước và lưu lượng trên các sông thay đổi.

Cho tới nay, các nghiên cứu về biến động mực nước do tác động của các yếu tố về khí tượng, mưa, lũ, tác động của thủy triều, kể cả có xét đến biến đổi khí hậu đã được xét đến. Tuy nhiên, một số tác động của con người tới chế độ dòng chảy như: (i) việc xây dựng các đê bao, xây dựng đường giao thông; (ii) việc hình thành các khu vực đô thị bằng việc san lấp hoặc thu hẹp các bãi triều (vùng trũng thấp nước tràn vào khi triều lên và nước rút ra khi triều xuống; nghiên cứu này gọi tắt là bãi triều) vẫn chưa được nghiên cứu cụ thể. Mặt khác, việc thu hẹp các bãi triều diễn ra trong thời gian dài nên việc tác động của chúng đối với dòng chảy là khó nhận biết. Do vậy, nghiên cứu này sẽ tập trung nghiên cứu làm rõ tác động của các bãi triều đến mực nước và lưu lượng trên sông thuộc hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN.

## **2. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU**

- Phân tích dựa trên cơ sở khoa học để đưa ra những lập luận của việc thay đổi bãi triều tác động đến mực nước và lưu lượng trong lòng dẫn.
- Dựa vào mô hình thủy lực, mô phỏng và đánh giá được tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trên sông thuộc hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN.

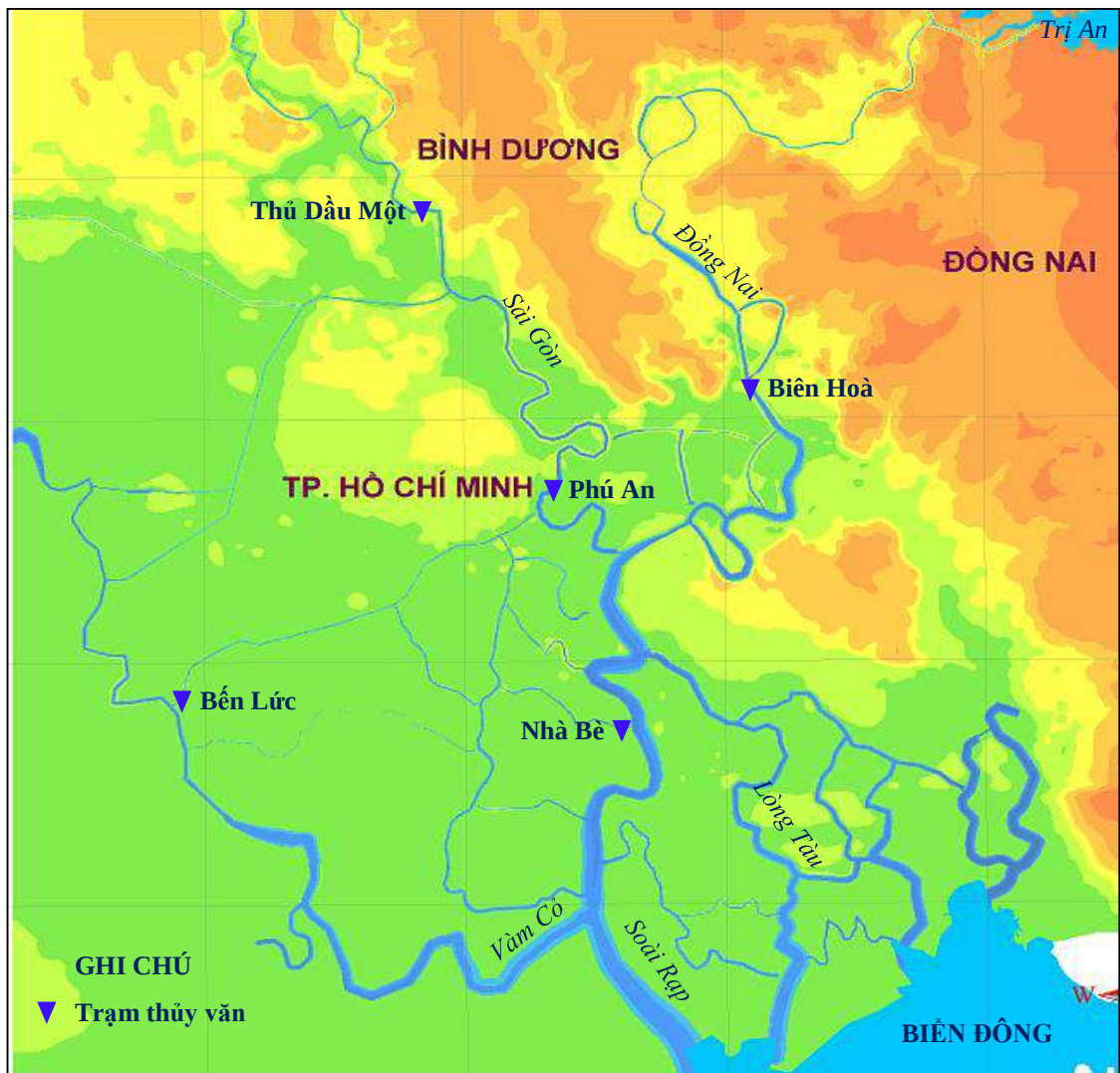
## **3. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU**

### **3.1. Đối tượng nghiên cứu**

Đối tượng nghiên cứu về các bãi triều: được giới hạn là các bãi triều thuộc khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN.

### **3.2. Phạm vi nghiên cứu**

Giới hạn phạm vi nghiên cứu của luận án bao gồm toàn bộ khu vực ảnh hưởng triều tính từ trạm thủy văn Thủ Dầu Một trên sông Sài Gòn và trạm thủy văn Biên Hoà trên sông Đồng Nai ra đến cửa biển (Hình 0-1).



Hình 0-1: Phạm vi khu vực nghiên cứu

#### 4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Phương pháp kế thừa: Kế thừa và tham khảo tài liệu, số liệu và các nghiên cứu đã có trên thế giới cũng như tại Việt Nam đặc biệt các nghiên cứu về tác động của bãi triều đến chế độ thủy lực trong sông.
- Phương pháp nghiên cứu tài liệu: Thu thập và tổng hợp số liệu về địa hình, địa mạo, khí tượng thủy văn, sử dụng đất... thuộc hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN.
- Phương pháp phân tích: Phân tích diễn toán các thông số trong phương trình thủy động lực. Phân tích định tính, định lượng, phân tích tương quan các tài liệu, các kết quả nghiên cứu. Phân tích ảnh vệ tinh bằng phần mềm ENVI cho hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN để xác định sự thay đổi sử dụng đất giữa các năm.



- Phương pháp mô hình toán: Ứng dụng các phần mềm NAM, MIKE11 và MIKE21 để mô phỏng tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng cho mô hình thủy lực thử nghiệm và toàn bộ hạ lưu vực sông SG-ĐN. Đây là công cụ chính để tính toán mô phỏng và đưa ra các kết quả phân tích.
- Phương pháp so sánh liên hệ thực tiễn: Các kết quả phân tích đánh giá sự thay đổi mực nước và lưu lượng trên sông do việc thu hẹp các bãi triều, so sánh liên hệ thực tiễn với các hiện tượng đã xảy ra và xu thế các thay đổi được phát hiện từ các chuỗi số liệu lịch sử.

## **5. Ý NGHĨA VÀ NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN**

### **5.1. Ý nghĩa khoa học**

- Dựa trên phân tích cơ sở khoa học, mô phỏng thủy lực bằng mô hình toán, làm sáng tỏ tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trong lòng dẫn và trên sông SG-ĐN.
- Đưa ra những luận cứ khẳng định tác động của các bãi triều đến mực nước, lưu lượng trên hạ lưu các lưu vực sông là rất lớn và không thể bỏ qua.

### **5.2. Ý nghĩa thực tiễn**

Sự thu hẹp các bãi triều là một quá trình lâu dài của con người khi phát triển xây dựng cơ sở hạ tầng trên vùng đất thấp. Các bãi triều mất dần đã làm cho mực nước sông tăng lên, sự gia tăng này thường được coi là do biến đổi khí hậu, nước biển dâng và khó nhận biết được tác động này. Do vậy, luận án có ý nghĩa thực tiễn cao đối với vùng ảnh hưởng triều ở các điểm sau:

- Kết quả của luận án được công bố nhằm cung cấp thông tin để hỗ trợ cho các nhà nghiên cứu, tư vấn, nhà lập quy hoạch và nhà quản lý nhận biết được việc thay đổi các bãi triều tác động rất lớn đến mực nước và lưu lượng trên sông. Tác động này trong những năm gần đây còn lớn hơn nhiều so với tác động của biến đổi khí hậu, nước biển dâng.
- Kết quả luận án có khả năng ứng dụng cho công tác nghiên cứu, thiết kế, xây dựng, khai thác và vận hành các công trình trong hạ lưu sông SG-ĐN nói riêng và cho tất cả những khu vực trũng thấp, chịu tác động của thủy triều.



### 5.3. Những đóng góp mới của luận án

- Thiết lập được mối liên hệ giữa bãi triều với mực nước và lưu lượng trên sông.
- Lượng hóa tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trên sông thuộc hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN.

## 6. CẤU TRÚC CỦA LUẬN ÁN

Luận án được trình bày trong 140 trang, gồm 116 hình, 15 bảng và các trang thuyết minh. Nội dung chính của luận án gồm phần mở đầu, 3 chương chính, phần kết luận và kiến nghị, được trình bày như sau:

### ***Chương 1: Tổng quan nghiên cứu***

Chương này đã giới thiệu chung về vùng nghiên cứu, trình bày hiện trạng ngập lụt trong vùng và đưa ra các nguyên nhân gây ngập đã đề cập trong các nghiên cứu trước đây. Dựa vào các số liệu mực nước lớn nhất thực đo trên một số sông chính tại Việt Nam, phân tích rõ sự gia tăng mực nước lớn nhất trên sông và mực nước lớn nhất tại cửa sông nhằm minh chứng: “*Sự gia tăng mực nước lớn nhất trong sông, lớn hơn nhiều so với sự gia tăng mực nước lớn nhất của các trạm triều ngoài cửa sông tại các khu vực có biến động mạnh về địa hình*”. Trên cơ sở đó nhận định về việc thu hẹp các bãi triều có thể là một trong những nguyên nhân đã làm gia tăng mực nước trên sông. Từ đó, luận án đã xác định hướng nghiên cứu: “*Sự thay đổi các bãi triều trong vùng tác động như thế nào đến mực nước và lưu lượng trong sông*”. Từ hướng nghiên cứu này, luận án đã phân tích các nghiên cứu liên quan trong nước và trên thế giới, xác định được rõ các vấn đề đã được giải quyết và đề cập đến những vấn đề mới sẽ triển khai trong nghiên cứu này.

### ***Chương 2: Cơ sở khoa học và xây dựng công cụ nghiên cứu***

Để minh chứng cho việc tác động của không gian bãi triều đến mực nước và lưu lượng trong lòng dẫn, nghiên cứu đã phân tích hệ phương trình thủy động lực với việc phân chia rõ bề rộng sông và bề rộng bãi triều. Theo kết quả phân tích, mực nước và lưu lượng trên sông chịu ảnh hưởng đáng kể bởi thông số chiều rộng bãi triều. Chương này cũng đề cập đến các tài liệu phục vụ nghiên cứu như tài liệu địa hình, khí tượng, thủy văn, tài liệu về sử dụng đất, ảnh viễn thám ... Giới thiệu các công cụ sử dụng

chủ yếu trong nghiên cứu. Mô tả việc xây dựng các mô hình thủy lực như: (i) Mô hình thủy lực thử nghiệm để tính toán phân tích tác động của các bãi triều (vị trí, diện tích, độ sâu bãi triều) đến mực nước và lưu lượng trên sông; (ii) Áp dụng mô hình thủy lực 1 chiều (MIKE 11) và 2 chiều (MIKE 21) cho toàn bộ hạ lưu sông SG-ĐN để mô phỏng các trường hợp tính thực tế.

### ***Chương 3: Kết quả nghiên cứu và thảo luận***

Các kết quả nghiên cứu quy luật và phân tích về tác động của các bãi triều (vị trí, diện tích, cao trình bãi, mặt cắt sông) thông qua mô hình thủy lực thử nghiệm đã được mô phỏng cụ thể. Các tính toán mô phỏng về tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trong khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN nói chung và khu Nam Sài Gòn nói riêng cũng đã được thực hiện. Từ các kết quả này, nghiên cứu đã đánh giá việc thu hẹp các bãi triều trong những năm qua đã làm gia tăng đáng kể mực nước lớn nhất trên sông và gây ngập cho những vùng đất thấp. Luận án cũng đã tính toán và đưa ra những phân tích cũng như lập quan hệ giữa vị trí bãi, diện tích bãi triều với độ giảm mực nước trên sông.

### ***Kết luận và kiến nghị***

Đưa ra các kết luận chính về tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng các sông chính thuộc khu vực hạ lưu Sài Gòn - Đồng Nai.

### ***Phân phụ lục***

Phân phụ lục được trình bày trong 39 trang, gồm 5 bảng biểu và 41 hình minh họa thể hiện các bãi triều trong khu vực hạ lưu sông SG-ĐN, giới thiệu phần mềm sử dụng trong nghiên cứu, mô tả việc thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

Dựa trên các nội dung đã thực hiện, nghiên cứu đã tóm tắt một số kết quả chính đã đạt được, các mặt tồn tại mà luận án chưa giải quyết và các kiến nghị về hướng phát triển tiếp theo của luận án.

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

## 1.1. GIỚI THIỆU CHUNG

### 1.1.1. Giới thiệu chung về khu vực nghiên cứu

- Khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN bao gồm các sông chính như sông Đồng Nai, sông Sài Gòn, sông Vàm Cỏ (Hình 1-1). Đây là một trong những khu vực quan trọng ở nước ta bao gồm TPHCM, Bà Rịa-Vũng Tàu, Đồng Nai, Bình Dương. Tổng diện tích tự nhiên tính cho toàn bộ hạ lưu từ Trị An, Dầu Tiếng và Cần Đăng đến biển khoảng 13.092 km<sup>2</sup>. Khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN chịu nhiều tác động từ các hoạt động phát triển kinh tế xã hội trên lưu vực như các hoạt động phát triển nông nghiệp, phát triển thủy lợi, thủy điện, giao thông thủy và phát triển đô thị.

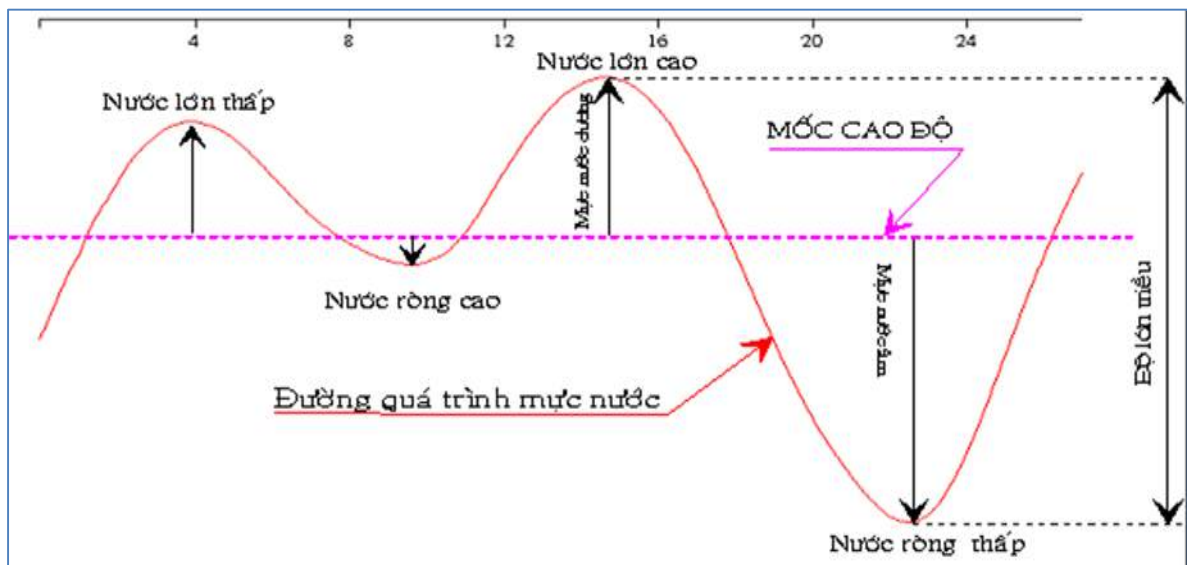


Hình 1-1: Bản đồ lưu vực sông Đồng Nai và hạ lưu sông SG-ĐN

- Hạ lưu SG-ĐN có một mạng lưới sông kênh khá dày. Sau Nhà Bè, sông Đồng Nai chia thành hai phân lưu chính là sông Nhà Bè và sông Lòng Tàu. Sông Nhà Bè khá rộng (từ 1.000-1.500 m ở đoạn trên và 2.000-3.000 m ở đoạn dưới) nhưng nông (10-

20 m). Sông Lòng Tàu hẹp hơn (200-400 m) nhưng rất sâu (30-40 m). Nối sông Nhà Bè và Lòng Tàu là mạng lưới sông nhỏ, ngắn, chằng chịt. Ngoài ra, vùng kẹp giữa sông Sài Gòn-Nhà Bè và Vàm Cỏ Đông-Vàm Cỏ Tây cũng là vùng có hệ thống kênh rạch dày và chế độ thủy văn-thủy lực phức tạp. Đối với vùng Tây-Nam TPHCM, các hệ thống sông Sài Gòn-Vàm Cỏ Đông, sông Bến Lức-kênh Đồi-kênh Tẻ, rạch Cây Khô-rạch Cần Giuộc-rạch Cát... là những hệ thống sông kênh đóng vai trò quan trọng trong giao thông thủy và tiêu thoát nước.

Cửa sông Đồng Nai chịu tác động bởi thủy triều biển Đông với biên độ rộng (thời kỳ triều cường khoảng từ 3,5-4,0 m; thời kỳ triều kém khoảng từ 1,5-2,0 m), lên xuống ngày 2 lần (bán nhật triều), với hai đỉnh xấp xỉ nhau và hai chân lệch nhau khá lớn (Hình 1-2). Thời gian giữa hai chân và hai đỉnh vào khoảng 12,0-12,5 giờ và thời gian một chu kỳ triều ngày là 24,83 giờ [3].



*Hình 1-2: Dạng thủy triều biển Đông*

Hàng tháng, triều xuất hiện 2 lần nước cao (triều cường) và 2 lần nước thấp (triều kém) theo chu kỳ trăng. Dạng triều lúc cường và lúc kém cũng khác nhau, và trị số trung bình của các chu kỳ ngày cũng tạo thành một sóng có chu kỳ 14,5 ngày với biên độ sóng 0,30-0,40 m. Trong năm, mực nước lớn nhất có xu thế cao hơn trong thời gian từ tháng IX-I và chân triều có xu thế thấp hơn trong khoảng từ tháng VII-VIII. Đường trung bình của các chu kỳ nửa tháng cũng là một sóng có trị số thấp nhất vào

tháng VII-VIII và cao nhất vào tháng XII-I. Triều cũng có các dao động rất nhỏ theo chu kỳ nhiều năm (18 năm và 50-60 năm). Như vậy, thủy triều biển Đông có thể xem là tổng hợp của nhiều dao động theo các sóng với chu kỳ ngắn (chu kỳ ngày), vừa (chu kỳ nửa tháng, năm), đến rất dài (chu kỳ nhiều năm).

Nhờ có biên độ cao tạo năng lượng lớn, lòng sông sâu và độ dốc thấp, thủy triều từ biển truyền vào rất sâu trong sông. Trên sông Đồng Nai, thủy triều ảnh hưởng đến chân đập Trị An (cách biển 152 km). Cửa sông Bé nằm dưới thác Trị An 6 km cũng bị thủy triều ảnh hưởng vào chừng 10 km. Trên sông Sài Gòn, thủy triều ảnh hưởng đến tận chân đập Dầu Tiếng (cách cửa sông khoảng 206 km). Sông Vàm Cỏ Đông bị triều ảnh hưởng sâu hơn (khoảng 250 km). Sóng triều truyền vào sông khá nhanh, với tốc độ trung bình 20-25 km/h. Để truyền hết chặng đường 250 km, một sóng triều phải mất chừng 12 giờ, bằng khoảng thời gian giữa hai chân hay hai đỉnh. Tốc độ truyền triều phụ thuộc chủ yếu vào độ lớn con triều (cường hay kém) và địa hình lòng sông. Tốc độ tối đa ghi nhận được từ tài liệu mực nước quan trắc được là khoảng 40 km/h. Sóng triều giảm dần biên độ khi truyền vào sông và tắt hẳn tại điểm ảnh hưởng cuối. Nếu không xét đến ảnh hưởng do dòng chảy từ thượng lưu, thì càng vào sâu, mực nước lớn nhất thấp dần và mực nước thấp nhất cũng cao dần [4].

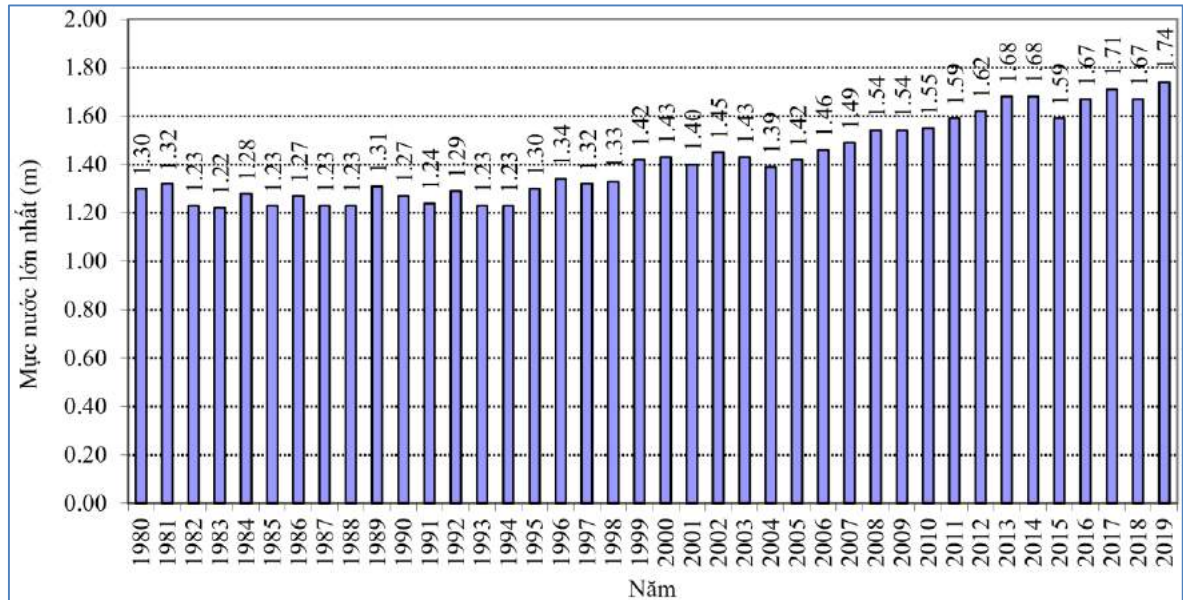
- Theo kết quả tính toán dựa trên bản đồ địa hình 1/10.000 cao độ địa hình dưới cao trình +2,00 m khoảng 5.036 km<sup>2</sup> chiếm 38,5% tổng diện tích tự nhiên. Nếu xét từ cao trình từ -2,50 m, đến 2,00 m thì tổng diện tích khoảng 3.700 km<sup>2</sup> chiếm 28,3% tổng diện tích đất tự nhiên. Như vậy, các khu vực trũng thấp trong khu vực hạ lưu có vai trò rất lớn trong việc điều hoà dòng chảy, đặc biệt với thủy triều.

#### **1.1.2. Hiện trạng ngập và các nguyên nhân**

- Từ năm 2000 trở lại đây, cả khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN nói chung cũng như khu vực TPHCM nói riêng đã phải bắt đầu đối mặt với vấn đề ngập lụt và vấn nạn này ngày càng trầm trọng. Trên khu vực ven sông Sài Gòn thuộc địa bàn tỉnh Bình Dương, khu vực từ rạch Ba Ruông đến suối Cang thuộc huyện Bến Cát, mức ngập là 1,20 m vào tháng 10 và tháng 11 do triều cường. Tại thành phố Thủ Dầu Một, một số địa phận ven sông Sài Gòn khu vực ngoài đê ngập 1,00 m vào tháng

9 và tháng 10, trong đê ngập 20 - 30 cm thời gian từ 2 - 3 giờ. Tại thị trấn Thuận An, các khu vực khu phố Hòa Long, Bình Đức và Long Thới ngập từ 0,20 - 0,80 m vào các tháng triều cường [5]. Trên địa bàn TPHCM, tính đến năm 2017 có 171 điểm ngập do mưa ở những tuyến đường hoặc hẻm phân cấp do quận, huyện quản lý, 40 điểm ngập do mưa và 9 điểm ngập do triều cường ở những tuyến đường lớn phân cấp Trung tâm Điều hành Chương trình Chống ngập nước Thành phố quản lý [6]. Tuy nhiên, con số này thay đổi liên tục tùy theo tình hình các cơn mưa lớn, nhỏ và ảnh hưởng của thủy triều cao.

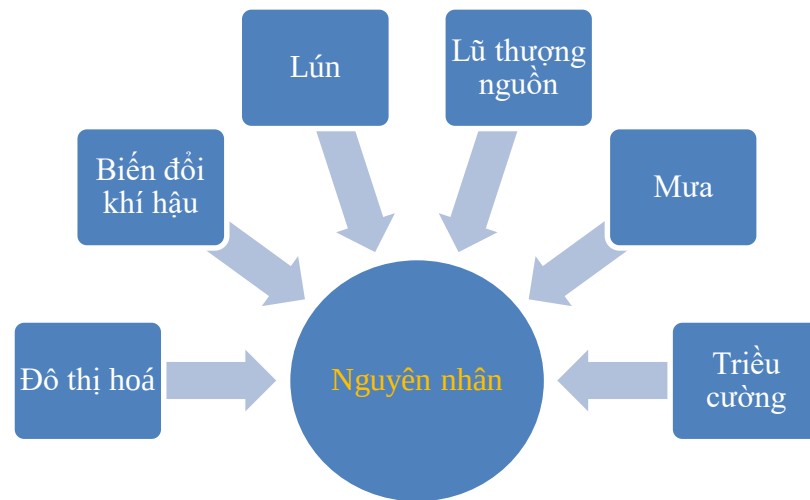
- Yếu tố gây ngập do triều cường trước năm 2000 thường không xảy ra do mực nước lớn nhất tại Phú An chưa bao giờ vượt qua cao trình +1,40 m. Tuy nhiên, từ năm 2000 cho tới năm 2019, tốc độ gia tăng mực nước lớn nhất năm tại Phú An đạt 1,4 cm/năm (Hình 1-3) [1], điều này đã làm cho tình trạng ngập do triều xảy ra thường xuyên hơn và thường mỗi một năm có khoảng 8 đến 10 đợt triều cường, mỗi đợt gây ngập khoảng 2 đến 4 ngày và mỗi ngày thường xảy ra 2 lần (vào thời điểm đỉnh triều).



*Hình 1-3: Mực nước lớn nhất năm tại Phú An*

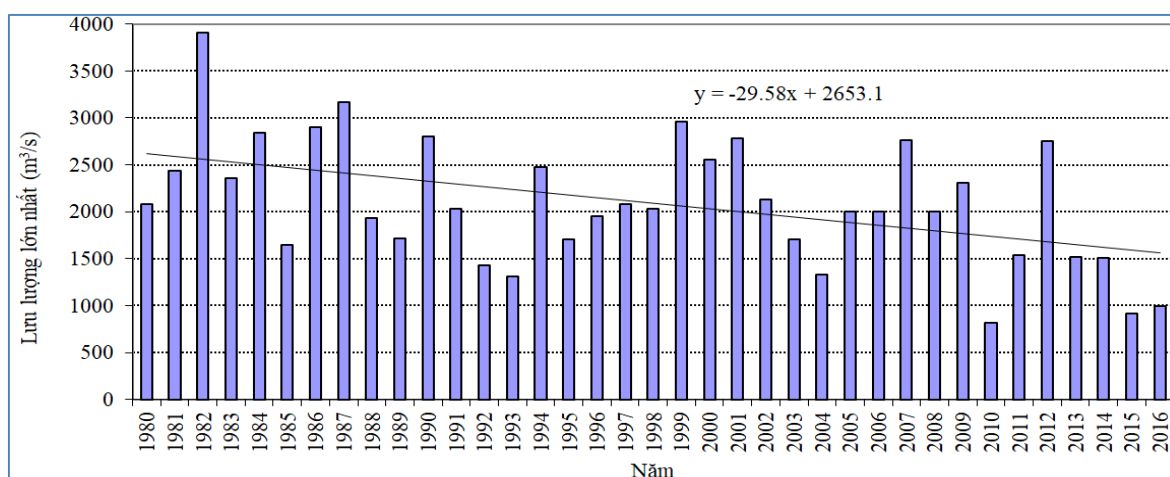
- Các nguyên nhân chủ yếu gây ngập trong khu vực nghiên cứu có thể kể đến: (i) Mưa lớn; (ii) Triều cường; (iii) Lũ thượng lưu; (iv) Biến đổi khí hậu; (v) Đô thị hoá; (vi) Lún nền (Hình 1-4).





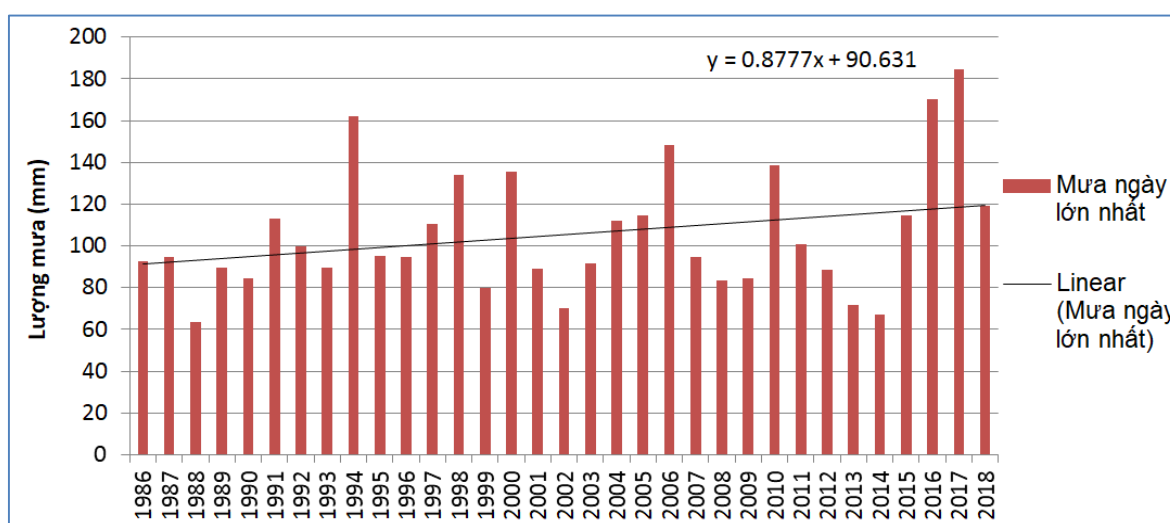
*Hình 1-4: Các nguyên nhân gây ngập được chỉ ra trong trong các nghiên cứu trước*

- Theo nghiên cứu của đề tài “*Quản lý tổng hợp lưu vực và sử dụng hợp lý tài nguyên nước hệ thống sông Đồng Nai*”, khi có các hồ chứa thượng lưu sông Đồng Nai và Sài Gòn, lưu lượng dòng chảy về hạ lưu có xu hướng giảm. Đối với hồ Thác Mơ, mực nước tại hạ lưu phần ảnh hưởng lũ khi có thêm Thác Mơ sẽ giảm đi từ 10 -25 cm. Đối với vùng ảnh hưởng triều mạnh, sự cắt giảm đỉnh lũ thượng lưu không có tác động gì đáng kể so với trong điều kiện tự nhiên. Đối với hồ Trị An, với các trận lũ tần suất 10% trở xuống, khả năng điều tiết của hồ là rất hiệu quả. Với các trận lũ lớn thì hầu như hồ cắt lũ không đáng kể [7]. Theo thống kê số liệu lưu lượng xả trung bình ngày thực đo tại hồ Trị An (tính cả xả qua tràn và lưu lượng phát điện), số liệu lưu lượng trung bình ngày lớn nhất có xu hướng giảm đi nếu tính từ năm 1980 – 2016 (Hình 1-5) [8]. Điều này cho thấy, ảnh hưởng của lũ thượng lưu trong những năm trước đây không làm cho mực nước lớn nhất tại khu vực hạ lưu sông SG-ĐN gia tăng. Vì vậy, trong nghiên cứu này không xét đến thay đổi của lũ thượng lưu làm gia tăng mực nước lớn nhất tại hạ lưu.



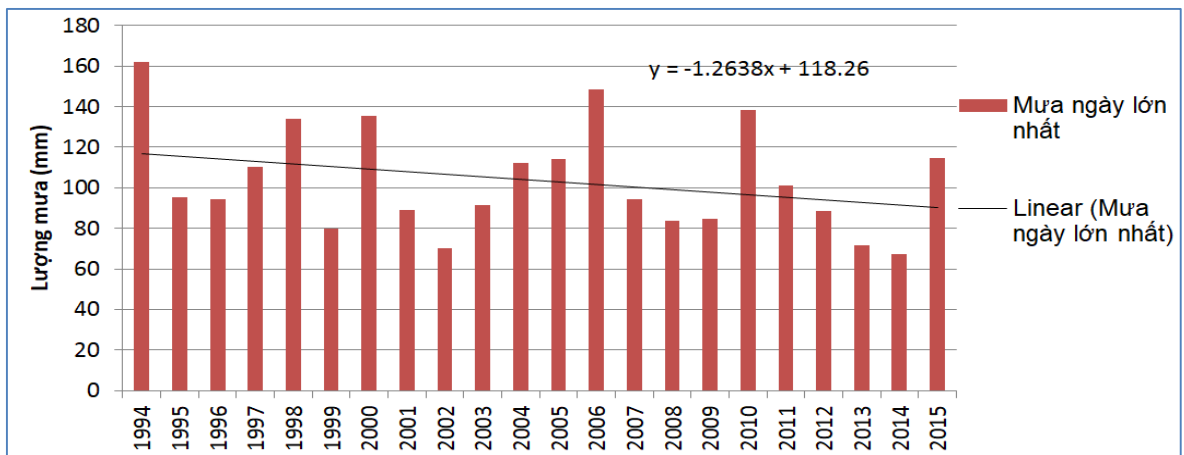
Hình 1-5: Lưu lượng trung bình ngày lớn nhất tại Trị An từ năm 1980 - 2016

• Đối với việc mực nước dâng cao do mưa lớn vùng hạ lưu sông SG-ĐN gây ra, theo phân tích tương quan lượng mưa ngày lớn nhất, tính từ năm 1986 đến 2018, lượng mưa ngày lớn nhất có xu hướng gia tăng 0,88 mm/năm (Hình 1-6) và có thể làm cho mực nước sông lớn nhất tăng lên. Tuy nhiên, nếu xét từ năm 1994 đến năm 2015 (thời kỳ mực nước lớn nhất năm khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN gia tăng mạnh) thì tương quan này có xu hướng giảm đi (Hình 1-7) [1]. Do đó, việc lượng mưa gia tăng trong vùng nghiên cứu làm cho mực nước sông gia tăng trong những năm gần đây chưa rõ ràng. Trong nghiên cứu này, phân tích mực nước lớn nhất tháng 5 (mục 3.1.2) cũng được đề cập để loại bỏ việc ảnh hưởng của gia tăng lượng mưa đến mực nước lớn nhất trên sông.

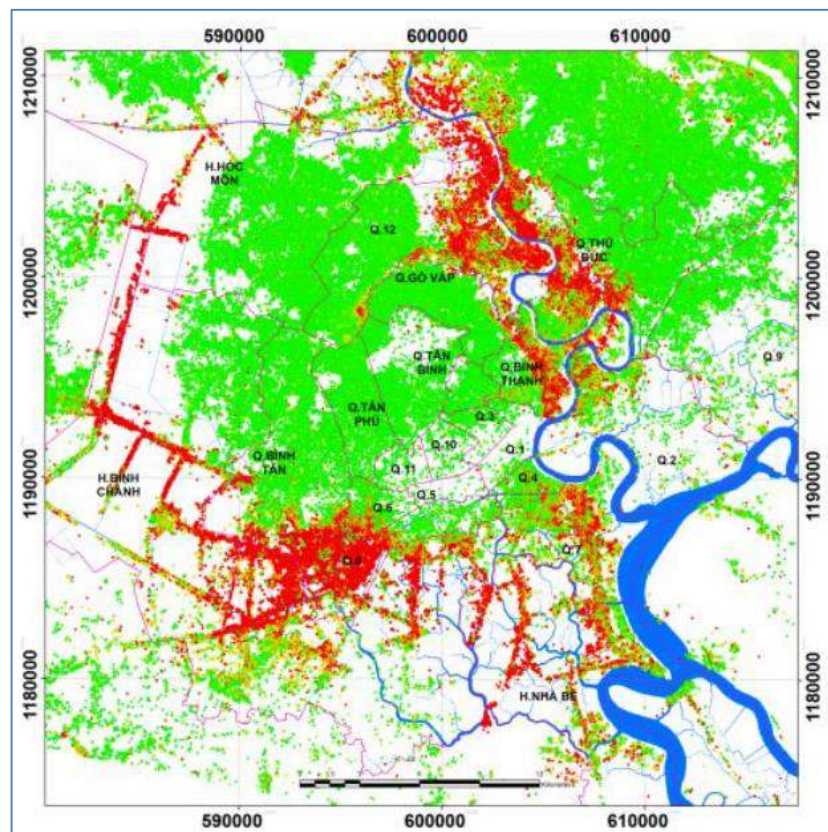


Hình 1-6: Lượng mưa ngày lớn nhất tại Tân Sơn Hoà từ năm 1986 - 2018





Hình 1-7: Lượng mưa ngày lớn nhất tại Tân Sơn Hoà từ năm 1994 - 2015



Hình 1-8: Kết quả biến dạng mặt đất theo điểm PS

- Nguyên nhân lún bề mặt làm cho cao trình địa hình hạ thấp và diện tích ngập gia tăng cũng đã được một số nghiên cứu đề cập trong những năm gần đây. Lê Văn Trung dùng kỹ thuật PSInSAR (Permanent Scatterer InSAR) để xử lý dữ liệu Sentinel-1 và COSMO SkyMed trong việc xác định biến dạng bề mặt địa hình. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra bản đồ lún cho các khu vực TPHCM (Hình 1-8). Ngoài những khu vực

không bị lún, các khu vực bị lún nền phân thành 03 cấp độ: (i) Lún trung bình từ 5 - 10 mm/năm; (ii) Lún tương đối nhanh từ 10-15 mm/năm và (iii) Lún nhanh trên 15 mm/năm [9]. Tuy nhiên, hiện nay chưa có nghiên cứu sâu nào về lún của mố cao độ, đặc biệt là lún mố cao độ thủy văn mà chỉ đề cập đến biến dạng bề mặt. Mặt khác, phân tích về lún là một vấn đề khó do thiếu các số liệu đo đạc. Do vậy, trong nghiên cứu này không đề cập đến vấn đề lún nền trong vùng nghiên cứu.

## **1.2. VẤN ĐỀ QUAN TÂM CỦA LUẬN ÁN**

### **1.2.1. Nhận định về sự gia tăng đỉnh triều**

Để đánh giá về sự gia tăng mực nước lớn nhất trên sông tại một số lưu vực sông tại Việt Nam, Phạm Thế Vinh, Nguyễn Ân Niên, 2015 đã phân tích tương quan mực nước lớn nhất tại một số trạm đo mực nước trên các lưu vực sông và đã có những nhận định [2] như dưới đây:

- Đối với hạ lưu lưu vực sông Hồng, theo kết quả phân tích số liệu thực đo mực nước cao nhất năm từ năm 1960 tới năm 2012 tại các trạm Hà Nội, Triều Dương, Nam Định, tương quan mực nước lớn nhất năm cho thấy sự gia tăng mực nước tại Hà Nội đạt 0,38 cm/năm, tại Triều Dương khoảng 1,0 cm/năm, tại Nam Định đạt 0,68 cm/năm. Thực tế, điều kiện địa hình vùng hạ lưu đồng bằng sông Hồng thay đổi không nhiều do đã được phát triển và bảo vệ từ hàng ngàn năm nên biến động mực nước lớn nhất giữa các trạm ven biển và các trạm trong sông chênh lệch nhiều.
- Đối với hạ lưu lưu vực sông Vu Gia-Thu Bồn, theo phân tích số liệu mực nước lớn nhất năm từ năm 1976 đến 2012 tại các trạm thủy văn, mặc dù mực nước lớn nhất tại Sơn Trà đang có xu hướng giảm đi (tương quan giảm 0,3 cm/năm) thì mực nước lớn nhất trên sông vùng ảnh hưởng triều như trạm Cẩm Lệ thuộc Đà Nẵng (tương quan tăng 2,4 cm/năm) và trạm Hội An (tương quan tăng 3,6 cm/năm). Một điểm đáng chú ý, sự phát triển của Thành Phố Đà Nẵng và Hội An trong những thập niên gần đây là rất mạnh.
- Đối với Đồng bằng sông Cửu Long, qua phân tích số liệu mực nước lớn nhất năm từ năm 1982 đến 2015 tại trạm Mỹ Thanh thuộc cửa sông Hậu đang có xu hướng tăng

lên 0,9 cm/năm. Tuy nhiên, mực nước lớn nhất tại Cần Thơ lại gia tăng trên 1,8 cm/năm. Như vậy, mực nước lớn nhất trong sông tăng nhanh hơn ngoài biển.

- Tốc độ gia tăng mực nước lớn nhất gây ngập tại khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN ngày càng lớn trong những năm gần đây và chủ yếu được cho là do biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, xét về tốc độ gia tăng mực nước lớn nhất tại Vũng Tàu cũng chỉ 0,45 cm/năm nhưng tại Nhà Bè tăng 1,03 cm/năm, tại Phú An tăng 1,21 cm/năm.

Như vậy, ngoài các yếu tố làm mực nước sông tăng cao như lũ thượng lưu, mưa trong vùng hạ du, mực nước biển dâng thì để mực nước sông tăng cao đột biến trong những năm gần đây luận án cho là có một nguyên nhân khác. Do sự phát triển kinh tế trong khu vực, các bãi triều, các khu chứa nước trước đây là nơi điều hoà dòng chảy thì ngày nay đã được san lấp thành các khu đô thị, hoặc chuyển đổi thành những khu sản xuất nông nghiệp làm cho dòng chảy chỉ còn tập trung trong sông gây mực nước lớn nhất trên sông dâng cao.

### **1.2.2. Khái niệm về đất ngập nước và bãi triều**

- Khái niệm về đất ngập nước

Ngập là hiện tượng nước trong sông, hồ tràn ngập một vùng đất. Ngập cũng có thể dùng để chỉ ngập do thủy triều, nước biển dâng do bão. Ngập có thể xuất hiện khi nước trong sông dâng cao tràn vào các vùng đất thấp [10]. Ngập hình thành nên các “bãi ngập”, có thể nói các khu vực này là các vùng đất ngập nước. Các vùng đất ngập nước không những tạo nên một hệ sinh thái đa dạng mà còn điều hoà dòng chảy, chi phối bớt lượng nước trong sông. Các vùng đất ngập nước bao gồm đầm lầy và bãi lầy, hoặc hỗn hợp bao gồm rừng ngập mặn, các loại rừng ngập nước. Nước trong vùng đất ngập nước có thể là nước mặn, nước ngọt hoặc nước lợ [11].

Như vậy, nguyên nhân và phạm vi hình thành các vùng đất ngập nước là khá rộng, do vậy trong nghiên cứu này chỉ tập trung xem xét và đánh giá các tác động của khu vực đất ngập nước chịu tác động của thủy triều.

- Khái niệm về bãi triều

Theo định nghĩa, bãi triều đa phần là trầm tích bãi bùn nằm trong đới gian triều và luân phiên ở trong tình trạng ngập nước và không ngập nước trong một con triều

(vùng gian triều) [12]. Các khu vực này đã bị ngập do triều trước đây và hiện nay có thể vẫn bị ngập triều hoặc không bị ngập triều nữa do tác động nâng cao cao trình nền hoặc xây dựng đê để bảo vệ.

### 1.2.3. Phân loại về đất ngập nước và bãi triều

- Phân loại về đất ngập nước

Về phân loại đất ngập nước, có thể tham khảo các nghiên cứu trên thế giới cũng như tại Việt Nam, cụ thể như dưới đây:

- Phân loại về đất ngập nước trên thế giới

Đã có rất nhiều phân loại về đất ngập nước trên thế giới theo các cách khác nhau bao gồm: (i) Phân loại theo loại hình đất than bùn dựa trên các điều kiện dòng chảy [13]; (ii) Phân loại theo sinh thái học [14]; (iii) Phân loại theo vùng địa lý [15], [16]; (iv) Phân loại theo nước ngọt và mặn [17]; (v) Phân loại theo thứ bậc đất ngập nước...

Dù quan điểm hay cách thể hiện khác nhau về đất ngập nước nhưng hầu hết phân loại đất ngập nước trên thế giới đều đề cập đến các yếu tố địa mạo, thủy văn, đất, thực vật và coi đất ngập nước là hệ sinh thái trong đó các yếu tố này có mối quan hệ tác động lẫn nhau, tạo ra các đặc trưng riêng biệt của mỗi vùng đất ngập nước. Ủy ban sông Mê Công (MRC) đã phân loại về đất ngập nước: (i) đất ngập nước mặn và (ii) đất ngập nước ngọt (Bảng 1-1) [17].

*Bảng 1-1: Hệ thống phân loại đất ngập nước của Ủy ban sông Mê Công*

| Hệ sinh thái       | Khu vực          | Hệ thống phụ      |
|--------------------|------------------|-------------------|
| Đất ngập nước mặn  | Biển và ven biển | Ngập triều        |
|                    |                  | Gian triều        |
|                    |                  | Không ngập triều  |
|                    |                  | Đầm phá ven biển  |
|                    | Cửa sông         | Ngập triều        |
|                    |                  | Gian triều        |
| Đất ngập nước ngọt | Thuộc về sông    | Không ngập triều  |
|                    |                  | Sông quanh năm    |
|                    | Thuộc về hồ      | Đồng bằng ngập lũ |
|                    | Thuộc về đầm     |                   |

- Phân loại về đất ngập nước tại Việt Nam

Theo phân loại đất ngập nước của các nghiên cứu trong nước, Bộ Khoa học Công nghệ và Môi trường đã phân ra thành 39 loại đất ngập nước, trong đó phân thành 2 nhóm chính (đất ngập nước tự nhiên và nhân tạo) [18]. Hệ thống phân loại của Nguyễn Chu Hồi đã phân ra các nhóm đất ngập nước: (i) Các vùng đất thấp ngập nước ven biển; (ii) Vùng đất ngập nước triều; (iii) Các đảo hoang nhỏ [19].

- Theo “Hướng dẫn kỹ thuật phân loại đất ngập nước” ban hành theo Quyết định số 1093/QĐ-TCMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường thì hệ thống phân loại đất ngập nước ở Việt Nam bao gồm 03 nhóm với 26 kiểu. Các kiểu đất ngập nước này được ký hiệu bởi những chữ cái tiếng Việt viết tắt cho kiểu (từ hai đến ba ký tự) và tương ứng với các ký hiệu kiểu đất ngập nước theo phân loại của Công ước Ramsar [20]. Đối với phân loại đất ngập nước này, luận án chú trọng nghiên cứu đến sự thay đổi của loại đất nằm trong vùng gian triều, nơi mà đất bị ngập do triều khi triều lên và không bị ngập vào lúc triều thấp nhất.

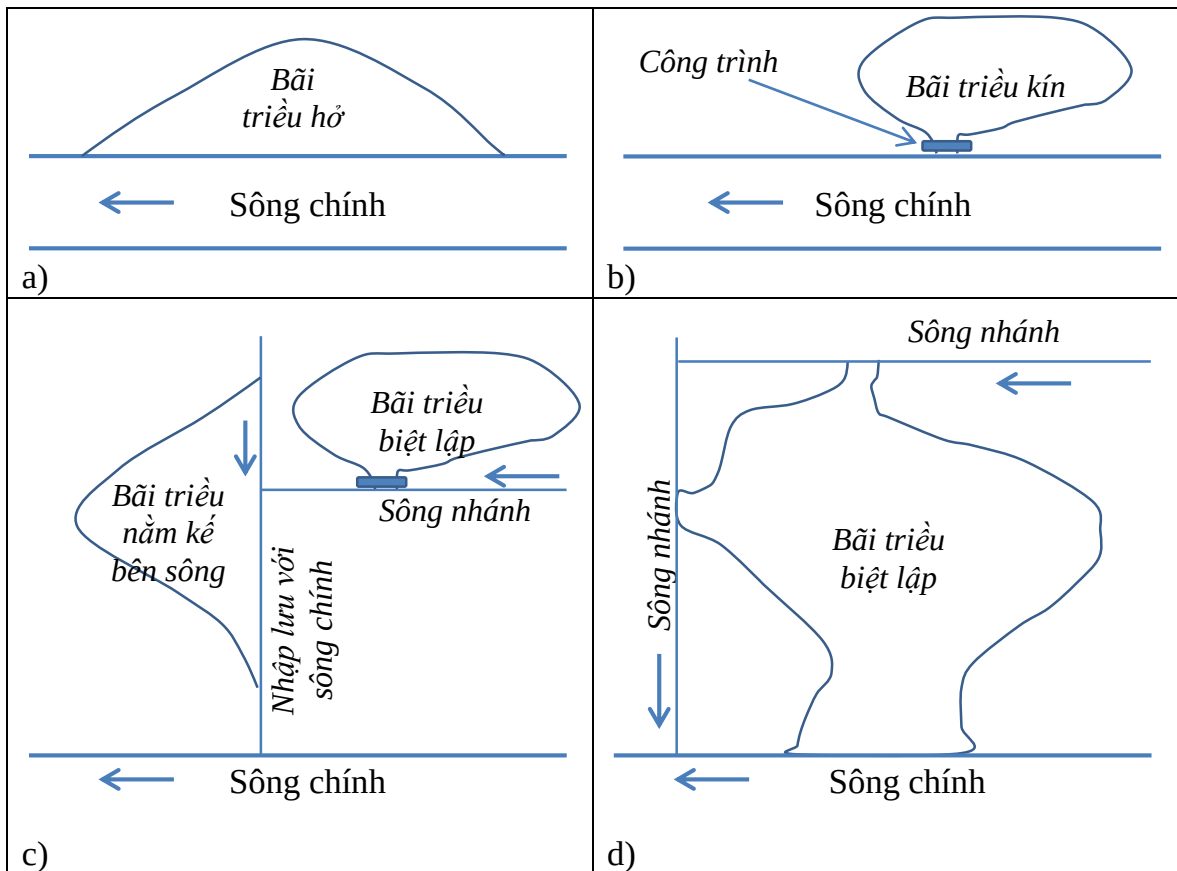
- Phân loại về bãi triều

Bãi triều là một trong những khu vực của đất ngập nước, về phân loại các bãi triều, theo Nguyễn Tất Đắc, bãi triều được phân ra làm hai loại [21]:

- Bãi triều hở (ô trữ hở): Các ô chứa nằm dọc theo dòng chảy có thể trao đổi khối lượng và động lượng với dòng chính (Hình 1-9.a).
- Bãi triều kín (ô trữ kín): Các ô trữ trao đổi cả khối lượng và động lượng qua môi liên hệ kiểu công trình (Hình 1-9.b).

Về vị trí bãi triều, theo Phạm Thế Vinh và Nguyễn Ân Niên, bãi triều được phân ra làm hai loại [22]:

- Bãi triều ven sông: Bãi triều nằm dọc theo dòng chảy có thể trao đổi khối lượng và động lượng với dòng chính (Hình 1-9.c).
- Bãi triều biệt lập: Bãi triều biệt lập nằm ven sông nhưng qua kết nối (công trình hoặc rạch nhỏ hở), bãi triều có thể kết nối với 1 hoặc nhiều sông, rạch và bị ngập khi mực nước sông dâng cao khi triều lên (Hình 1-9.c,d).



*Hình 1-9: Các dạng bãi triều ven sông chính và sông nhánh*

Như vậy, các bãi triều có nhiều dạng khác nhau, có thể kín do việc xây dựng công trình, có thể hở và nước triều có thể vào bãi triều khi triều lên, bãi triều có thể nằm bên dòng chính hoặc xa sông chính thông qua các kênh, rạch nhánh nhưng vẫn có thể tham gia vào việc trao đổi dòng chảy với sông chính.

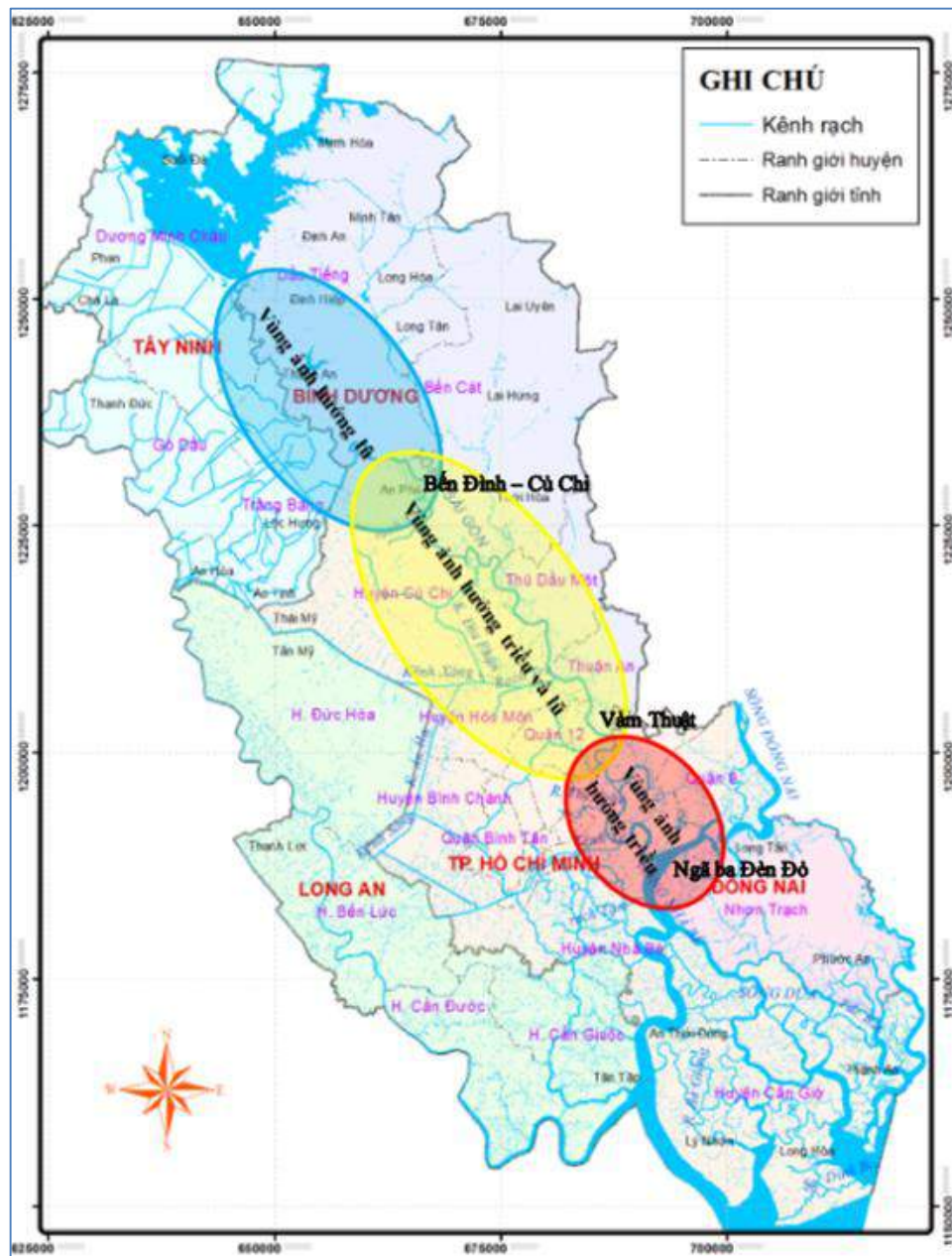
#### **1.2.4. Mối liên hệ giữa sông và bãi triều trong vùng nghiên cứu**

Đối với khu vực hạ lưu vực sông SG-ĐN, hiện tượng ngập xảy ra với triều thường xuyên tại các vùng đất thấp. Cho tới nay, do phát triển kinh tế nên các khu vực đất thấp chịu tác động bởi thủy triều đã bị thu hẹp để xây dựng cơ sở hạ tầng, một số nơi được bảo vệ để sản xuất nông nghiệp nên tương tác của các khu vực này với triều đã bị thay đổi.

Tại các con sông trong vùng nghiên cứu, thường có các khu chứa nằm ven sông hoặc thông qua các kênh rạch nhỏ nối với sông chính. Nếu khu chứa có đáy cao hơn mực nước triều lớn nhất là khu chứa (chạm) lũ, khu chứa có cao trình đáy thấp hơn mực nước triều lớn nhất là các bãi (chạm) triều, giữa hai loại này tùy theo mực nước lũ và triều



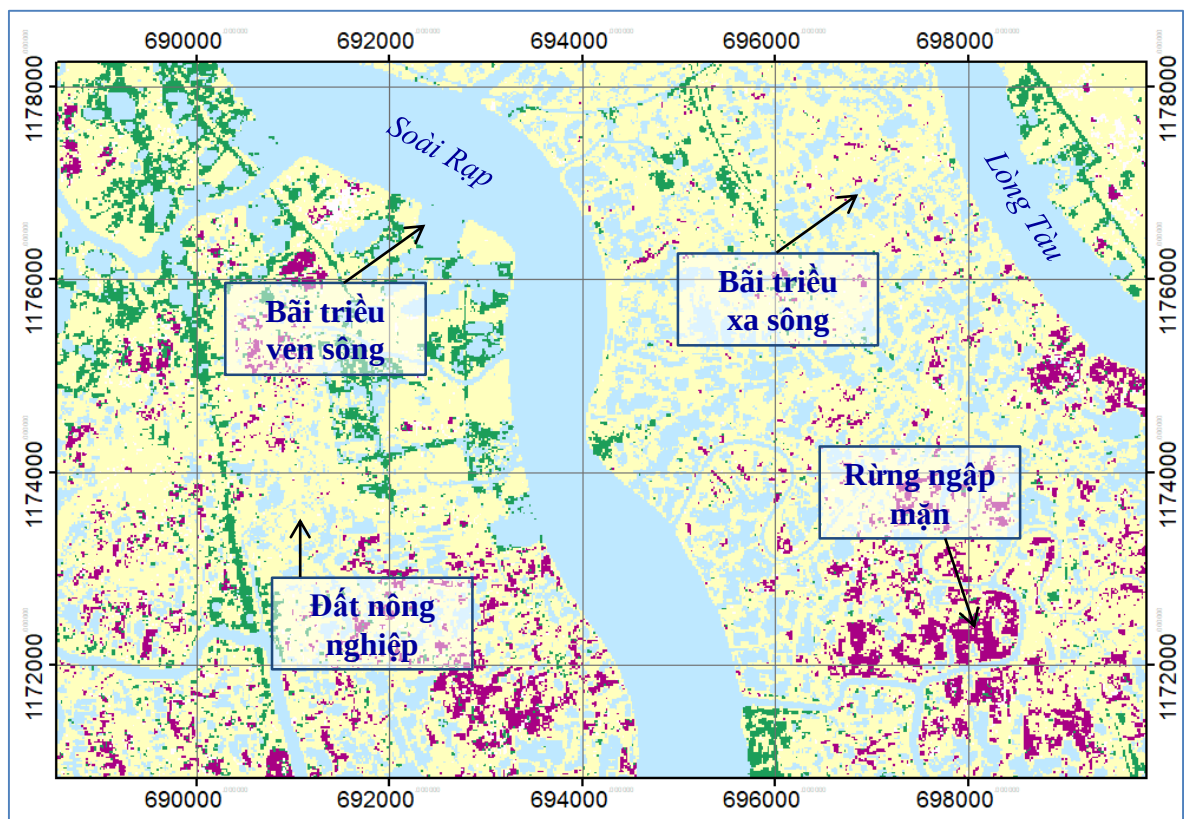
mà khu chứa vừa là khu điều hòa dòng chảy lũ vừa là khu điều hòa dòng triều. Kết quả nghiên cứu của đề tài “Nghiên cứu các giải pháp phân lũ, chậm lũ và giảm lũ nhằm giảm ngập cho Thành Phố Hồ Chí Minh” cho thấy rằng đoạn sông Sài Gòn từ chân đập đến Bến Đình dài khoảng 65 km ảnh hưởng hoàn toàn của lũ, đoạn từ Bến Đình đến ngã ba sông Vàm Thuật (khoảng 50 km) chịu ảnh hưởng bởi cả triều và lũ. Đoạn từ ngã ba sông Vàm Thuật với sông Sài Gòn (cách đập Dầu Tiếng 111 km) về cửa sông Đồng Nai chịu ảnh hưởng mạnh mẽ từ triều biển Đông (Hình 1-10) [23].



Hình 1-10: Phân vùng đoạn sông ảnh hưởng triều - lũ sông Sài Gòn

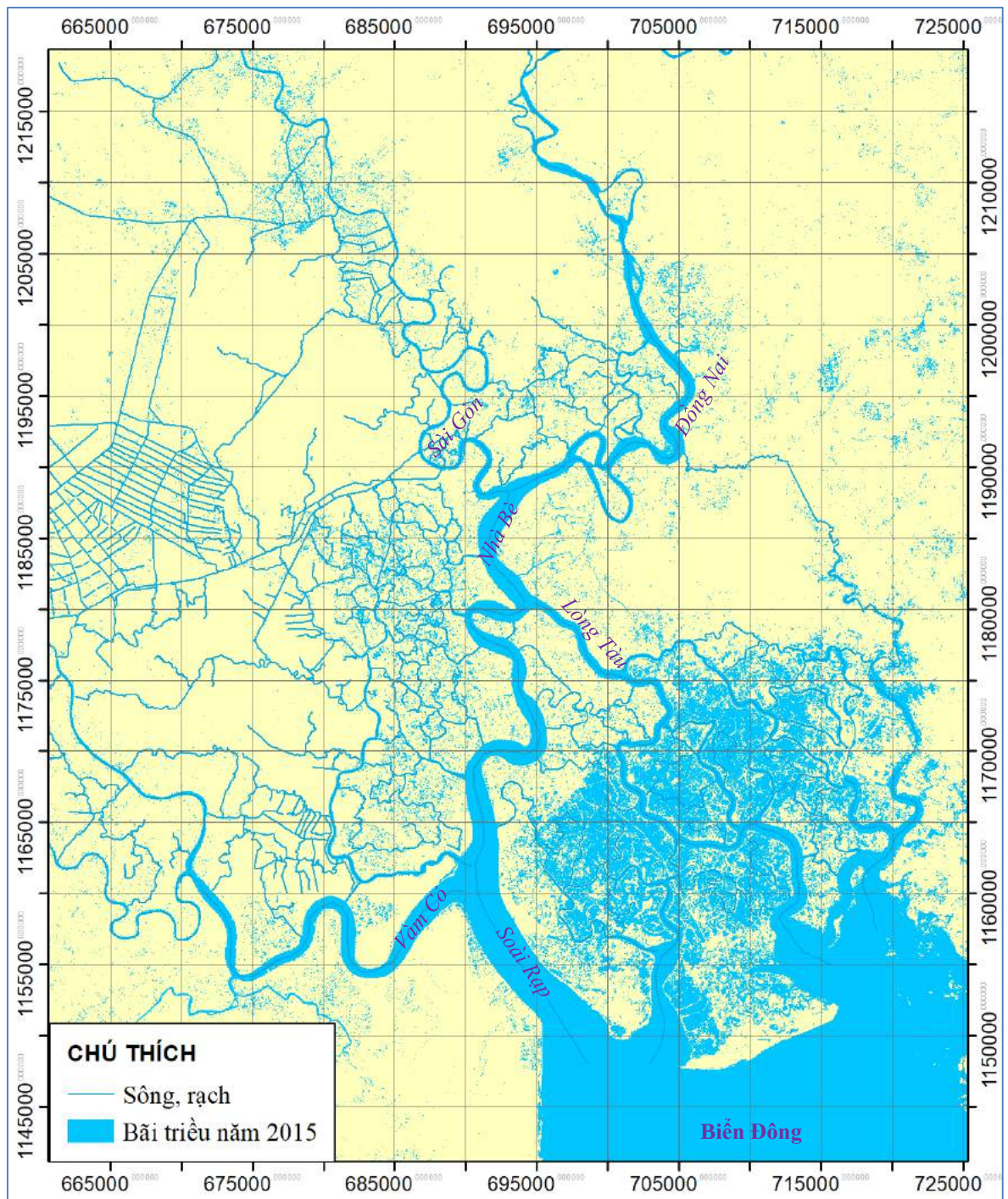
Sự khác nhau giữa hai dạng này là khu chứa lũ (điều hòa dòng chảy lũ chứa lũ trong thời gian dài), mực nước trong khu chứa lũ cao (từ đáy cạn hoàn toàn đến gần cao trình đỉnh lũ trong sông). Ngược lại, bãi triều có mực nước biến động theo chu kỳ triều (tại vùng nghiên cứu với chế độ bán nhật triều, mực nước triều lên xuống 2 lần/ngày) và mực nước trong bãi triều dao động khoảng giữa từ chân triều đến đỉnh triều.

Các bãi triều có thể xuất hiện ven sông, xa sông (Hình 1-11). Các bãi triều này có thể được xác định từ kết quả phân tích ảnh vệ tinh (Hình 1-12, Hình 1-13). Dựa vào các số liệu trên, thiết lập các bãi triều tương tác với sông thông qua các kết nối trong mô hình MIKE 11 và MIKE 21 để mô phỏng các trường hợp tính toán trong nghiên cứu của luận án.



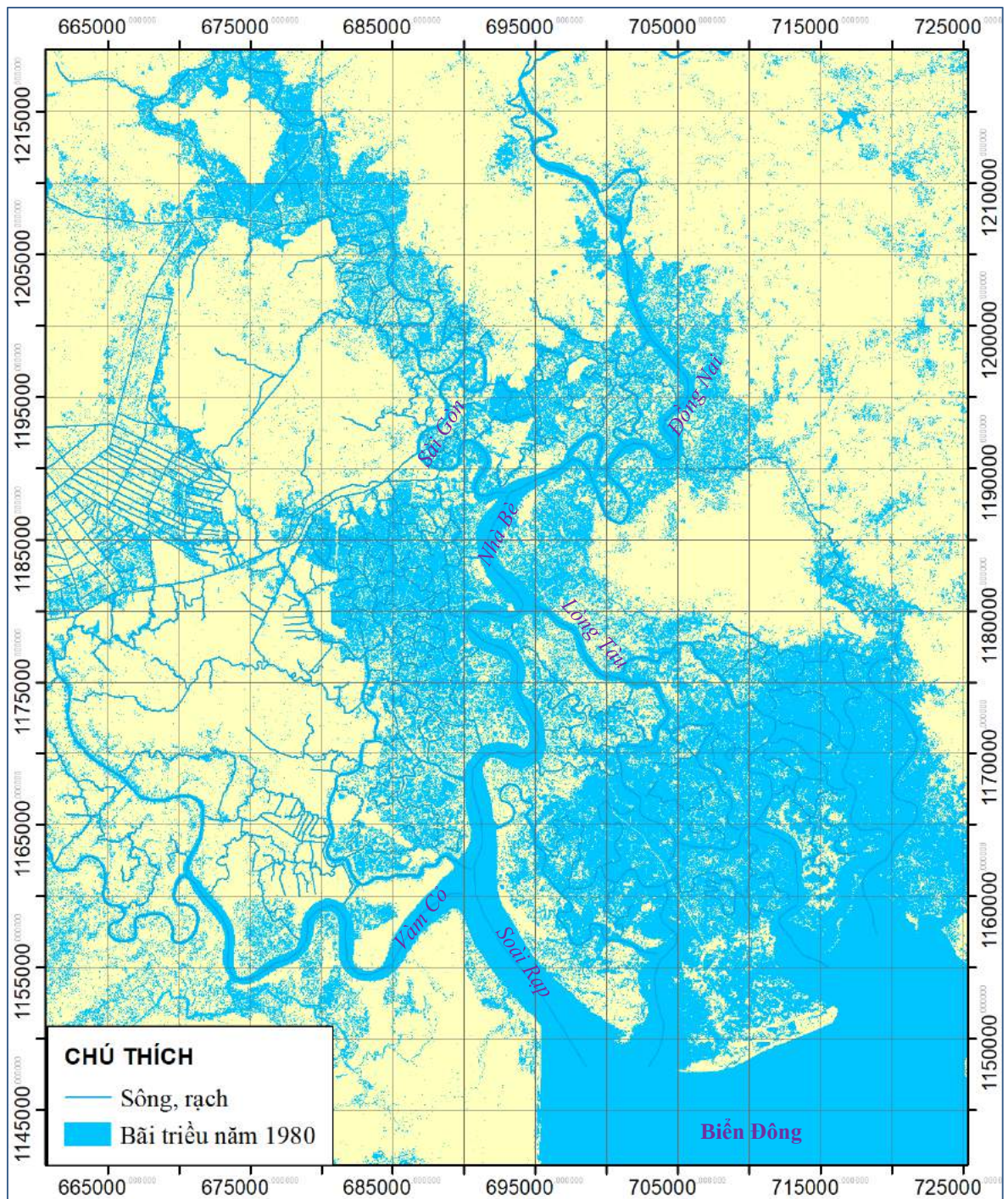
Hình 1-11: Xác định các bãi triều dựa trên bản đồ sử dụng đất năm 2015





Hình 1-12: Phân bố các bãi triều tính đến năm 2015 dựa trên phân tích ảnh vệ tinh



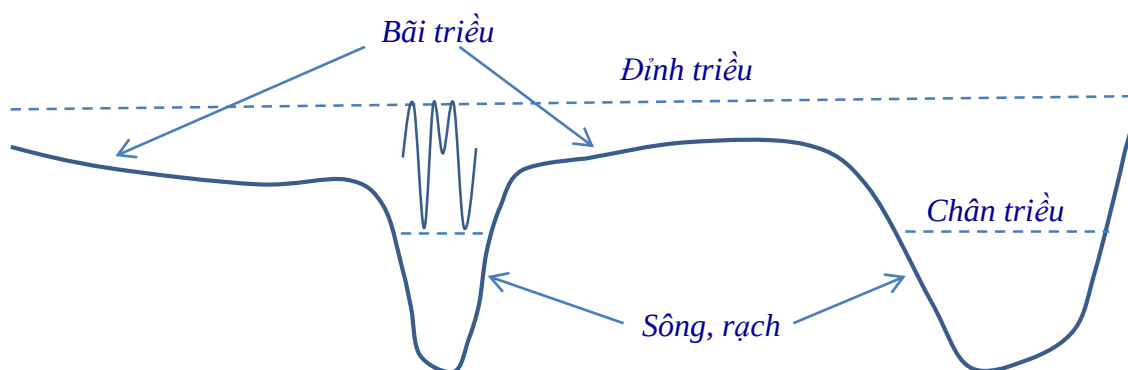


*Hình 1-13: Phân bố các bãi triều tính đến năm 1980 dựa trên phân tích ảnh vệ tinh*  
Chi tiết các bãi triều được trình bày phụ lục 1. Về mối liên hệ giữa bãi triều và sông có thể theo hình thức: (i) Bãi triều ven sông một hoặc cả 2 phía (Hình 1-9, a, c) gần với mặt cắt sông được xem là không gian mở rộng của sông và (ii) bãi triều biệt lập

(Hình 1-9, b, c, d). Kết nối giữa bãi triều và sông có thể qua công trình, qua đoạn kênh (như mô phỏng trong phần mềm KOD hoặc phần mềm VRSAP).

#### 1.2.5. Vấn đề quan tâm của luận án

- Bãi triều trong hạ lưu sông SG-ĐN thường nằm ven các sông chính, kênh, rạch nhánh. Khi chưa có tác động của con người thì liên kết giữa các bãi triều và sông chính cùng các kênh rạch khác liên thông với nhau. Trong thời điểm mực nước triều còn thấp, dòng chảy chủ yếu chảy trong lòng dẫn và các bãi này không bị ngập, khi mực nước triều dâng cao thì dòng chảy từ trong sông vào bãi và làm ngập bãi triều (Hình 1-14).



*Hình 1-14: Bãi triều tự nhiên trong khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN*

Trong quá trình phát triển, các bãi triều hiện nay đã bị thay đổi do việc xây dựng các đường giao thông, xây dựng công trình phục vụ phát triển nông nghiệp (đê, bờ bao, cống ...), công trình kiểm soát ngập, san lấp để xây dựng nhà ở.... Các hoạt động này làm cho dòng chảy giữa sông và các bãi triều cũng khác đi so với trước đây. Đây cũng là nguyên nhân mà trong nghiên cứu này cần làm rõ.

- Các bãi triều đã bị thay đổi trong khu vực nghiên cứu có thể kể đến:
  - Bãi triều đã chuyển thành khu sản xuất nông nghiệp: Sự phát triển nông nghiệp của vùng nghiên cứu khá mạnh trong những năm qua, tổng diện tích đất sản xuất nông nghiệp hiện nay khoảng 959.000 ha đạt 69,8% trên tổng diện tích đất tự nhiên (xem mục 3.1). Để bảo vệ các khu sản xuất nông nghiệp, các công trình (đê bao, cống hở, cống bọng...) đã được xây dựng để kiểm soát triều khi mực nước ngoài sông cao và tiêu nước khi chân triều thấp hoặc tiêu nước bằng các





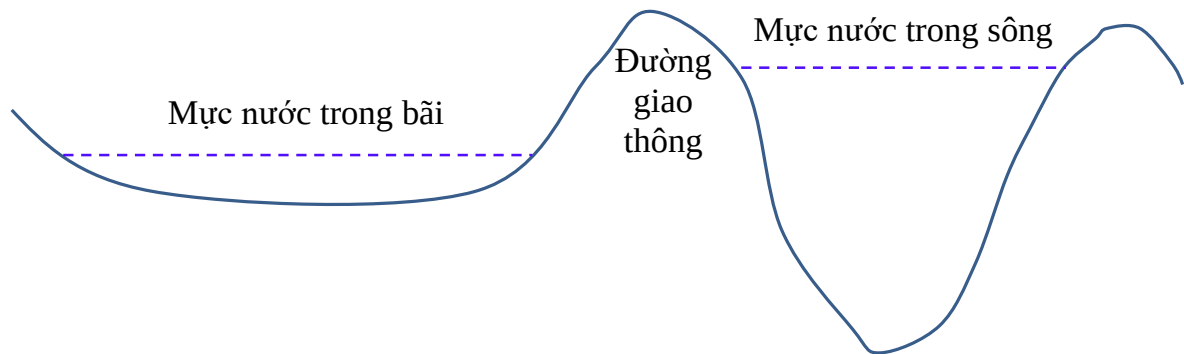
không thể xâm nhập vào các khu vực này nữa làm cho dòng chảy chỉ còn trong sông. Điều này làm cho mực nước triều tăng cao khi các khu vực này được xây dựng. Tổng diện tích đất này khoảng 288.360 ha đạt 21,0% trên tổng diện tích đất tự nhiên trong khu vực nghiên cứu (xem mục 3.1).



**Hình 1-16: Minh họa các dự án đô thị đã và đang triển khai trên địa bàn Thành Phố Hồ Chí Minh**

- Bãi triều khi xây dựng các công trình giao thông: Việc xây dựng các công trình giao thông trong khu vực cũng làm cho mối liên hệ giữa dòng chảy trong sông và các bãi triều thay đổi so với trước đây (Hình 1-17). Khi xây dựng các công trình này, các nhà tư vấn thiết kế đã có xem xét đến khả năng thoát nước của khu vực qua các cầu giao thông trên các sông rạch, các cống bọng tại những khu vực có lưu vực thoát nước nhỏ. Tuy nhiên, dòng chảy trên sông chính cũng không còn xâm nhập trực tiếp vào các bãi triều mà phải đi xa hơn qua các nhánh sông các cống, cầu trên đường. Với những cống, cầu có khẩu độ nhỏ thì dòng

chảy không thể vào hết các bãi triều làm cho mực nước ngoài sông và trong bãi triều có sự chênh lệch và làm giảm tác động cắt triều của bãi.



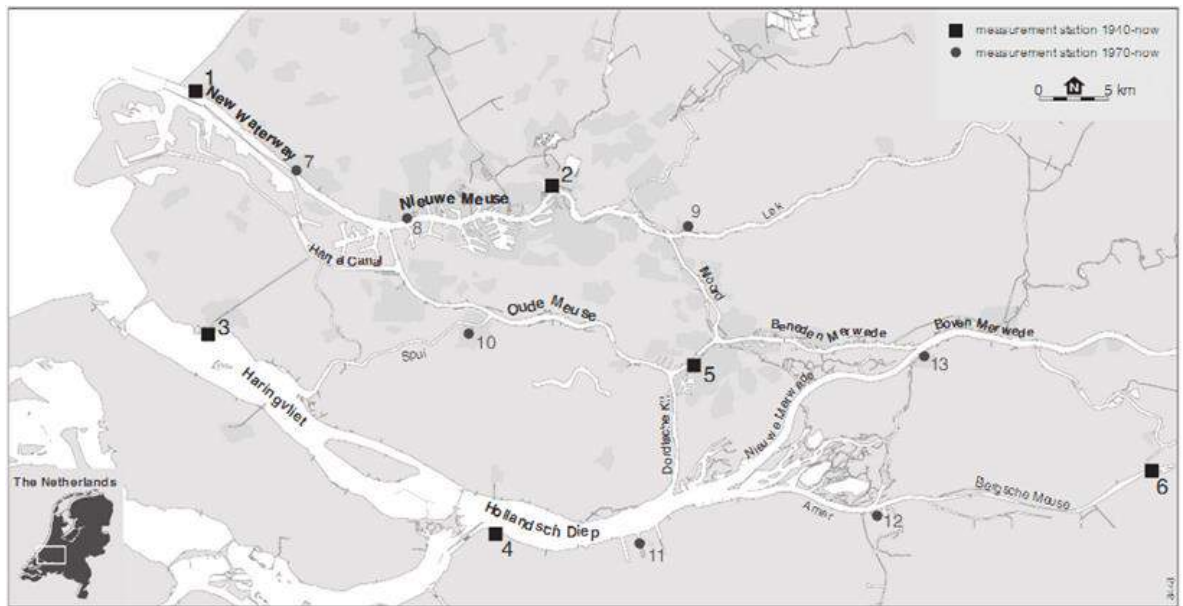
Hình 1-17: Mực nước trong bãi và ngoài sông khi cống qua đường giao thông nhỏ

### 1.3. CÁC NGHIÊN CỨU TRƯỚC ĐÂY

#### 1.3.1. Nghiên cứu trên thế giới

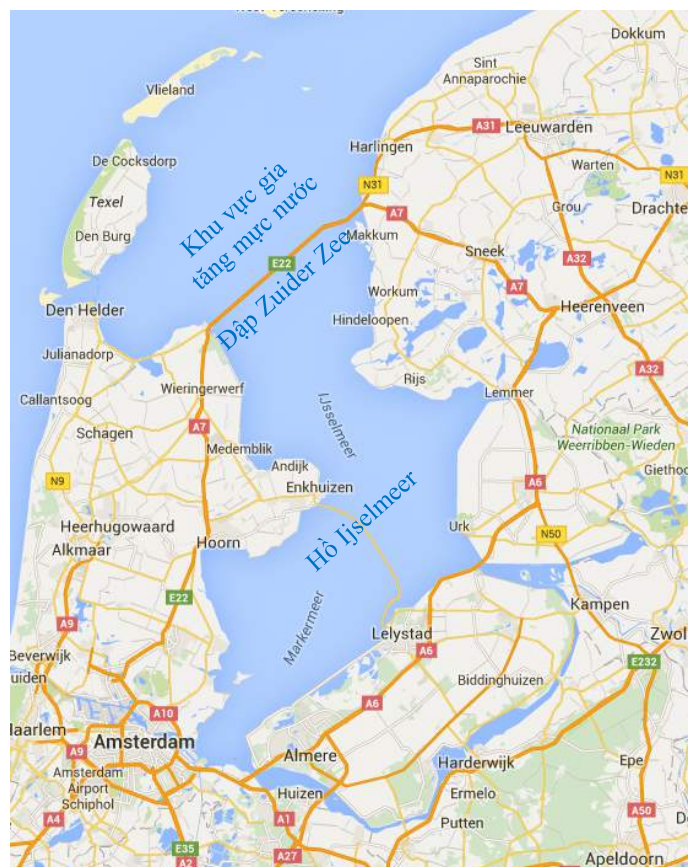
- Những số liệu thực đo về thủy văn tại một số khu vực chịu tác động bởi thủy triều và ảnh hưởng của việc thay đổi các bãi triều trên thế giới đã minh chứng cho việc mực nước ngoài sông tăng nhanh. Điển hình là những nghiên cứu sau:

- (i) N.E. Vellingaa, A.J.F. Hoitink, M. van der Vegta, W. Zhangc, P. Hoekstra, thuộc Đại học Wageningen, Hà Lan đã công bố một phân tích về mực nước thực đo trong 70 năm của 13 trạm ở phía Bắc vùng đồng bằng sông Rhine-Meuse (Hình 1-18). Việc phân tích bằng cách sử dụng một loạt các phương pháp thống kê. Sử dụng tham số hàm mật độ xác suất, có nghĩa là mực nước cao và thấp được kiểm tra để tìm xu hướng. Họ đã chứng minh rằng mực nước trung bình ở đồng bằng có sự gia tăng song song với mực nước biển trung bình. Khi nói đến mực nước lớn nhất và nhỏ nhất, nghiên cứu đã kết luận: “*Ảnh hưởng của sự can thiệp của con người vào thủy triều là lớn hơn mực nước biển dâng*”. Những thay đổi là do việc xây dựng các cống, đập ven sông làm thay đổi chuyển động thủy triều [25]. Những kết quả này chỉ ra rằng ảnh hưởng trực tiếp của con người đến thủy triều có thể áp đảo tác động của mực nước biển dâng tại những khu vực hạ lưu.



Hình 1-18: Vị trí các trạm đo mực nước phía bắc vùng đồng bằng sông Rhine-Meuse

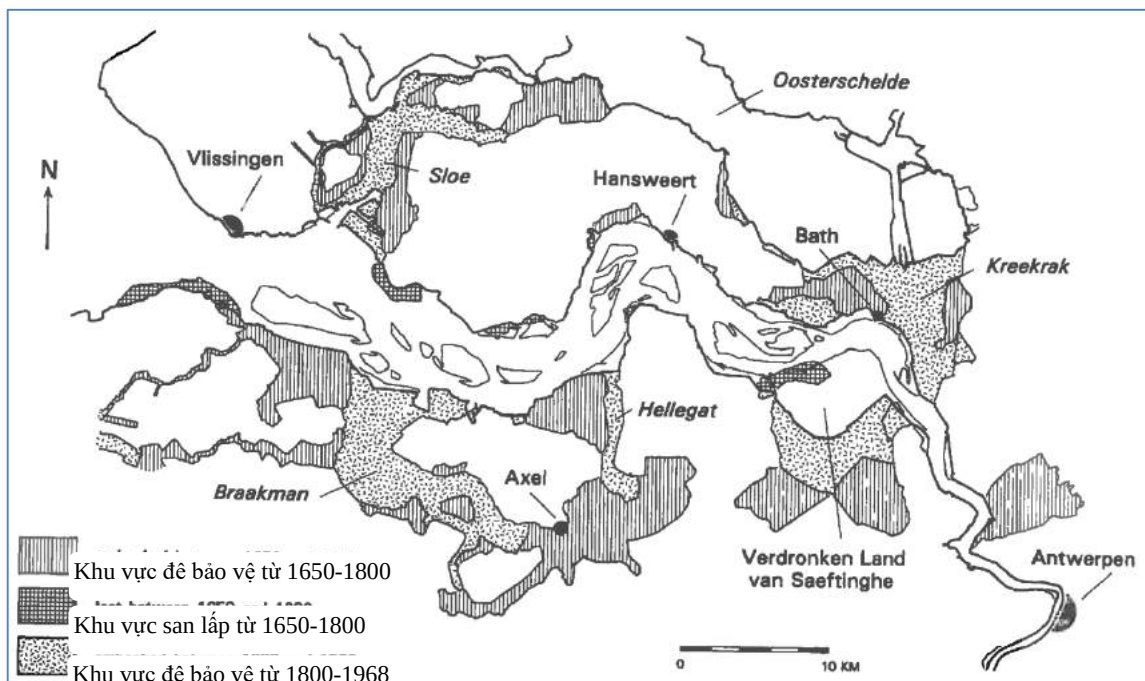
- (ii) Theo J.G De Ronde, đập Zuider Zee đã làm thay đổi lớn điều kiện thủy triều ở vùng biển Wadden (Hình 1-19). Biên độ triều tăng khoảng 50%, ví dụ ở Harlingen tăng từ +1,25 m đến +1,80 m. Điều này có nghĩa là tất cả các tuyến đê ở vùng biển Wadden cần phải tăng chiều cao [26].



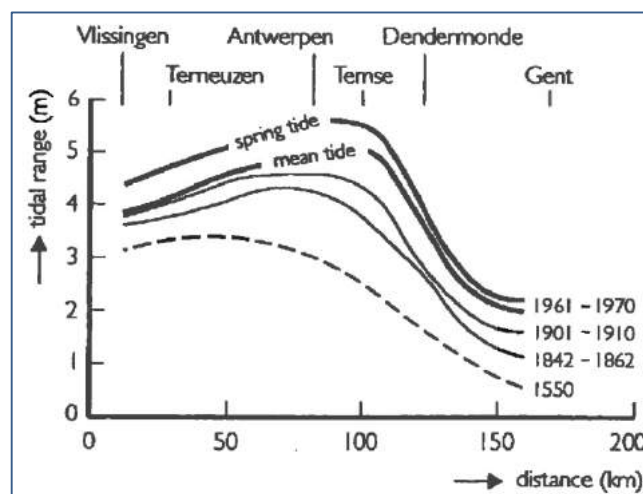
Hình 1-19: Đập Zuider Zee và hồ IJsselmeer tại Hà Lan



(iii) Nghiên cứu của A.J.F. Van Der Spek đã dựa trên số liệu các bãi triều mất đi hoặc được bảo vệ để xây dựng mô hình thủy lực một chiều mô phỏng sự thu hẹp các bãi triều từ năm 1650 đến năm 1968 (Hình 1-20). Nghiên cứu chỉ ra rằng, việc thu hẹp các bãi triều đã làm gia tăng đáng kể mực nước triều trong sông (Hình 1-21) [27].



Hình 1-20: Những khu vực lên đê bao bảo vệ và san lấp từ năm 1650 đến 1968 thuộc đồng bằng sông Schelde, Hà Lan



Hình 1-21: Gia tăng mực nước từ năm 1650 đến 1968 dọc sông Schelde, Hà Lan

Cơ sở lý thuyết về thủy động lực cho vùng ảnh hưởng triều là rất cần thiết để phân tích chế độ thủy động lực trong sông và ảnh hưởng của sự can thiệp của con người, như nạo vét để phục vụ giao thông thủy, cấp nước ngọt và thiết kế xây dựng các công trình kiểm soát nguồn nước tại các cửa sông ảnh hưởng bởi thủy triều. Phân tích lý thuyết là công cụ hữu hiệu để đánh giá tác động của các can thiệp đó vì việc phân tích cung cấp cách nhìn sâu sắc trong các mối quan hệ giữa các thông số. Các nghiên cứu trước đây đã đưa ra giải pháp phân tích đơn giản cho dao động thủy triều ở các cửa sông, dựa trên lý thuyết tuyến tính. Nghiên cứu của Hunt, J. N đã mô tả *dao động thủy triều ở cửa sông* dựa trên phân tích phương trình thủy triều tuyến tính không có ma sát và phương trình động lượng có kể đến ma sát lòng dẫn. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng tác động của ma sát đến sóng triều cần được xét đến và việc bỏ qua yếu tố ma sát chỉ áp dụng trong một số trường hợp cụ thể và thận trọng [28]. Việc *tính toán thủy triều trong sông và ven biển* đã được Dronkers nghiên cứu với giả thiết lòng dẫn không đổi cả về chiều rộng và chiều sâu [29]. *Sự lan truyền sóng triều dài trong các sông thu hẹp* đã được Jay, D. A. xác định mối quan hệ phân tán và phân tích ảnh hưởng của ma sát và địa hình đối với sự truyền sóng dài của thủy triều. Nghiên cứu đã kết luận, địa hình ảnh hưởng đến sự truyền sóng dài vào trong sông, với địa hình thay đổi nhỏ thì tác động của địa hình vào biên độ sóng nhỏ [30]. Friedrichs, C. T., and D. G. Aubrey cũng đã nghiên cứu về *sự lan truyền thủy triều trong các cửa sông thu hẹp* bằng việc phân tích lý thuyết và quan sát các số liệu tại các cửa sông nông có tác động của thủy triều. Nghiên cứu chỉ ra, độ dốc lòng dẫn chi phối vận tốc trong phương trình liên tục và ma sát chi phối trong phương trình động lượng. Nếu quán tính là hữu hạn và hội tụ mạnh, biên độ tăng dọc theo kênh, trong khi nếu quán tính yếu và hội tụ có yếu, biên độ giảm dần [31]. Ngoài ra, một số nghiên cứu “*Sự lan truyền của thủy triều ở các cửa sông hội tụ*” [32]; “*Mối quan hệ giữa động lực thủy triều và độ sâu trong các cửa sông thu hẹp mạnh*” [33]; “*Động lực thủy triều trong các kênh*” [34]; “*Xem xét lại việc truyền thủy triều một chiều tuyến tính*” [35] và “*Phân tích thủy triều và độ mặn ở cửa sông*” [36] đã chỉ ra một loạt các giải pháp phân tích các phương trình thủy động lực. Mục đích của các nghiên cứu này là so

sánh tất cả các giải pháp phân tích này nhằm làm rõ các thông số chính tác động đến sự truyền triều dọc theo sông. Tất cả các giải pháp phân tích lý thuyết tại các cửa sông được phát triển cho đến nay luôn đòi hỏi các giả định để đơn giản hóa tập hợp phi tuyến của phương trình St. Venant. Hầu hết các nhà nghiên cứu đã tuyến tính hóa các phương trình St. Venant bằng cách bỏ qua các thông số quán tính, mật độ trong phương trình động lượng và tuyến tính hóa thông số ma sát. Một số nghiên cứu đã cải tiến phương trình truyền sóng của thủy triều để phù hợp với các số liệu quan sát. Savenije, H. H. G., and E. J. M. Veling đã nghiên cứu *mối liên quan giữa suy giảm thủy triều và tốc độ truyền sóng ở cửa sông*. Các quan sát ở các cửa sông cho thấy sóng thủy triều di chuyển nhanh hơn đáng kể so với phương trình truyền sóng cổ điển. Hiện tượng này được quan sát thấy rõ ràng ở cửa sông Schelde (thuộc Hà Lan và Bỉ) và cửa sông Incomati ở Mozambique. Nghiên cứu kết luận rằng, gia tốc của sóng và sự tắt dần của thủy triều đều phụ thuộc vào sự cân bằng giữa ma sát và sự hội tụ. Nếu hội tụ mạnh hơn ma sát, sóng thủy triều được khuếch đại và nếu ma sát mạnh hơn sự hội tụ, sóng thủy triều bị hãm. Độ trễ pha là một tham số quan trọng để mô tả sự truyền sóng thủy triều ở các cửa sông [37]. Một số nghiên cứu gần đây liên quan đến nghiên cứu có thể kể đến như sau:

- (iv) Leo C. Van Rijn đã thiết lập phương trình truyền triều tại cửa sông với việc giải đơn giản hóa phương trình Saint - Venant [38]. Đối với cửa sông không có dòng nhập lưu ( $q$ ), lòng dẫn rộng ( $B_c \gg H$ ), mặt cắt ngang hình chữ nhật có bề rộng không đổi, xuất phát từ hệ phương trình Saint - Venant có thể viết như sau:

$$B \frac{\partial uH}{\partial x} + B \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{A \partial u}{\partial t} + \frac{u \partial u}{A \partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} - gA(i_x - j_x) = 0 \quad (1.2)$$

Biên độ của triều nhỏ so với độ sâu nước và do đó vận tốc dòng chảy nhỏ. Nếu bỏ qua số hạng gia tốc đối lưu  $\frac{u \partial u}{\partial x}$  và đáy sông nằm ngang thì hệ phương trình (1.1), (1.2) có thể viết thành:

$$\frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (1.4)$$

Đặt:  $H = H_0 + \eta$  và thay vào các phương trình (1.3), (1.4) dẫn đến:

$$\frac{\partial uH_0}{\partial x} + \frac{\partial u\eta}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (1.6)$$

Nếu coi biên độ sóng nhỏ hơn nhiều so với độ sâu ( $\eta \ll H$ ) thì hệ phương trình (1.5), (1.6) có thể viết:

$$H_0 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1.7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (1.8)$$

Đạo hàm phương trình (1.7) theo t và phương trình (1.8) theo x và trừ đi ta được:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} - gH_0 \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = 0 \quad (1.9)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình (1.9) là:

$$\eta = \hat{\eta} \cos(\omega(t - \frac{x}{c})) = \hat{\eta} \cos(\omega t - kx) \quad (1.10)$$

Đây là phương trình truyền triều tại cửa sông, trong đó:

$\hat{\eta}$ : Biên độ sóng;

$\omega$ : Tần số góc ( $\omega = 2\pi/T$ );

c: Vận tốc truyền sóng ( $c=L/T= \omega/k$ );

k: số sóng ( $k= 2\pi/L$ );

T: Chu kỳ sóng;

L: Chiều dài sóng.

- (v) Huayang Cai đã đưa ra một phân tích mới cho việc giảm thủy triều ở các cửa sông, nhằm mục đích nâng cao hiểu biết về quá trình thủy triều và phát triển một phần mềm phân tích đơn giản nhưng đáng tin cậy để dự đoán các đặc điểm

phù hợp nhất của sóng thủy triều dọc theo cửa sông. Một trong những yếu tố quan trọng nhất của động lực thủy triều (ma sát) đã được làm rõ trong khung tham chiếu Lagrangean. Cách tiếp cận này cho phép duy trì thuật ngữ ma sát phi tuyến. Nghiên cứu cũng đồng thuận về nguyên tắc ma sát là một hàm của biên độ và độ sâu của thủy triều và nó thay đổi dọc theo cửa sông. Để giải thích cho ma sát biến đổi, một cách tiếp cận đa phạm vi đã được áp dụng để theo dõi sự biến đổi dọc theo lòng dẫn của các cửa sông bằng cách sử dụng tích hợp hệ số suy giảm trong một đoạn sông ngắn. Điều này cho phép mô hình tái tạo thủy động lực thủy triều thực tế trong một cửa sông nơi cả chiều rộng và chiều sâu đều thu hẹp theo cấp số nhân [39].

- (vi) H. Cai, H. H. G. Savenije, và M. Toffolon đã mở rộng khung phân tích cho thủy động lực thủy triều bằng cách tính đến việc tác động của lưu lượng thượng lưu của sông. Với phương pháp đường bao (Savenije [40]), yếu tố ma sát khi xem xét đến lưu lượng thượng lưu được sử dụng để rút ra biểu thức cho các giá trị HW (mực nước đỉnh triều) và LW (mực nước chân triều). Khi kết hợp với phương trình về độ trễ pha, phương trình tỷ lệ và phương trình vận tốc, các phương trình suy giảm sóng này có thể được giải quyết lặp lại cho các tham số không thứ nguyên, độ trễ pha, tương ứng. Không giống như các nghiên cứu trước đây bỏ qua các tham số bậc cao, phương pháp đường bao giữ lại tất cả các tham số này mặc dù chúng vẫn yêu cầu biên độ thủy triều nhỏ so với tỷ lệ chiều sâu. Điều này cho phép bao gồm cả việc đánh giá lưu lượng thượng lưu trong một khung phân tích đầy đủ. Bằng cách sử dụng phương pháp đường bao, nghiên cứu có thể tính toán cho việc đánh giá ảnh hưởng của lưu lượng thượng lưu đến chế độ triều cửa sông. Nghiên cứu chỉ ra rằng, mực nước trung bình có xu hướng tăng dần về phía thượng lưu và có ảnh hưởng đáng kể đến việc truyền sóng thủy triều, đặc biệt khi tính đến ảnh hưởng của lưu lượng thượng lưu vì dòng chảy của sông ảnh hưởng đến sự hội tụ và ma sát [41].



- Một số nghiên cứu đã đề cập đến tác động của địa hình đến chế độ thủy triều trên sông dựa trên việc đơn giản hoá phương trình St. Venant, điển hình là những nghiên cứu sau:

(vii) Theo Hubert Savenije, trong khu vực cửa sông ảnh hưởng của thủy triều, hầu hết các lý thuyết phân tích được phát triển cho đến nay dựa trên phương trình truyền sóng thủy triều trong cửa sông hình lăng trụ (Hình 1-22) dựa trên việc tuyến tính hóa các phương trình St. Venant [42].

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \alpha_s \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA \frac{\partial Z_b}{\partial x} + gA \frac{h}{2\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + gA \frac{U|U|}{C^2 h} = 0 \quad (1.11)$$

$$r_s \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = R_s \quad (1.12)$$

Trong đó:

$Q = Q(x,t)$ : Lưu lượng ( $m^3/s$ )

$\alpha_s$ : Hệ số hình dạng (hằng số giả định) để tính toán sự thay đổi không gian của tốc độ dòng chảy trên mặt cắt ngang ( $\alpha_s > 1$ );

$A = A(x, t)$ : Diện tích mặt cắt ngang của dòng chảy ( $m^2$ );

$h = h(x, t)$ : Độ sâu mặt cắt trung bình của dòng chảy (m);

$Z_b = Z_b(x, t)$ : Độ cao đáy mặt cắt trung bình (m);

$g$ : Gia tốc trọng trường ( $m/s^2$ );

$\rho = \rho(x, t)$ : Mật độ của chất lỏng ( $kg/m^3$ );

$U = U(x, t)$ : Tốc độ dòng chảy trung bình mặt cắt (m/s);

$C = C(x)$ : Hệ số Chézy ( $m^{0.5}/s$ );

$R_s$ : Dòng chảy nhập lưu ( $m^2/s$ );

$r_s = r_s(x)$  là tỷ lệ bề rộng mặt cắt sông tính cả bãi triều trên bề rộng mặt cắt sông ( $r_s \geq 1$ ).

Trong hệ phương trình (1.11, 1.12), các yếu tố ( $A, Q, r_s$ ) được xác định bởi:

$$A = hB \quad (1.13)$$

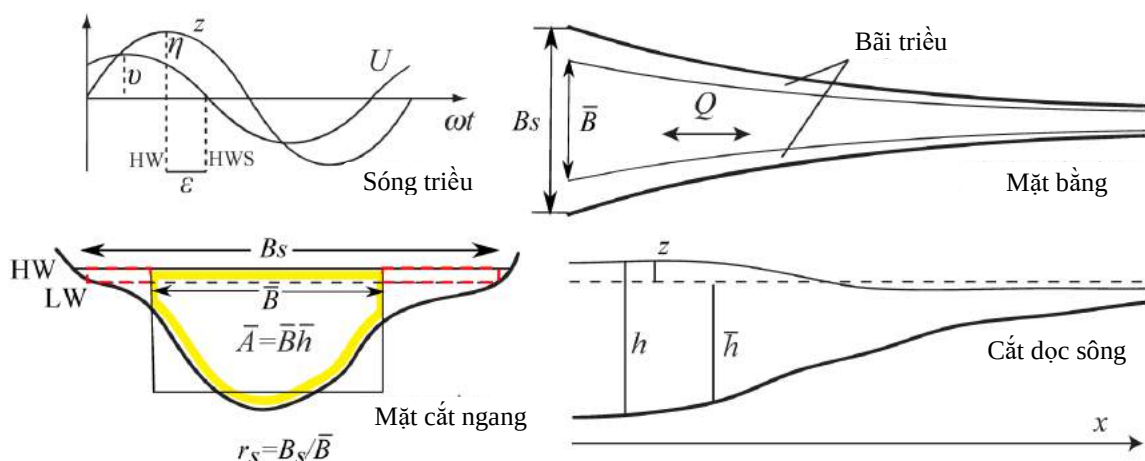
$$Q = UA \quad (1.14)$$

$$r_s = Bs/B \quad (1.15)$$

Trong đó:

$B = B(x, t)$ : Bề rộng sông (m);

$B_s = B_s(x, t)$ : Chiều rộng sông và bãi triều (m).



*Hình 1-22: Minh họa các ký hiệu trong hệ phương trình St. Venant*

Trong phương trình (1.12) thấy sự xuất hiện của tỷ lệ bề rộng mặt cắt sông tính cả bãi triều trên bề rộng mặt cắt sông. Tỷ lệ này cần được đưa vào vì các khu vực cắt ngang được sử dụng trong hai phương trình St. Venant là không giống nhau. Trong phương trình chuyển động (1.11), diện tích mặt cắt ngang thể hiện động lượng trong chuyển động (phần chảy dưới tác động của trọng lực và ma sát). Trong phương trình thứ hai (1.12) là toàn bộ phần nước nơi lưu trữ nước (các bãi triều). Điều này cũng bao gồm nước trong bãi không tham gia vào phương trình chuyển động. Để kết hợp hai phương trình này, có thể sử dụng mối quan hệ giữa bề rộng tổng cả bãi và sông và bề rộng sông (tỷ lệ  $r_s$ ). Tỷ lệ này luôn  $\geq 1$  và nếu không có bãi triều thì  $r_s = 1$ . Đặc biệt gần cửa sông, nơi có bãi bồi, tỷ lệ này có thể là đáng kể.

Để luận giải quan hệ giữa hình dạng mặt cắt sông và thủy triều, nghiên cứu đã biến đổi phương trình (1.12) như sau:

Thay thế (1.13) và (1.14) vào phương trình (1.12), ta được:

$$r_s \left( h \frac{\partial B}{\partial t} + B \frac{\partial h}{\partial t} \right) + UB \frac{\partial h}{\partial x} + hB \frac{\partial U}{\partial x} + hU \frac{\partial B}{\partial x} = 0 \quad (1.16)$$

Theo suy luận hình học, tại một vị trí cố định, chiều rộng B là hàm duy nhất của h. Do đó, thuật ngữ đầu tiên có thể được viết là:

$$h \frac{\partial B}{\partial t} = h \frac{dB}{dh} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1.17)$$

Nếu giả sử hình dạng mặt cắt hình thang có độ dốc cạnh i, thì (1.17) có thể được viết:

$$r_s \left( 1 + \frac{2h}{iB} \right) \frac{\partial h}{\partial t} + U \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{hU}{B} \frac{\partial B}{\partial x} = 0 \quad (1.18)$$

Xét tại khu vực cửa sông nơi bề rộng mặt cắt lớn hơn nhiều so với độ sâu ( $B \gg H$ ) nên có thể bỏ qua trị số  $\frac{h}{iB}$  và (1.18) có thể viết như sau:

$$r_s \frac{\partial h}{\partial t} + U \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{hU}{B} \frac{\partial B}{\partial x} = 0 \quad (1.19)$$

Sau khi phân tích, nghiên cứu đã đưa ra được:

$$\frac{H}{E} = \frac{\bar{h}}{r_s b} \frac{(1 - \delta b)}{\cos(\varepsilon)} \quad (1.20)$$

Trong đó:

H: Biên độ triều (m);

E: Khoảng cách mà phần tử nước đi từ khu vực chân triều đến khu vực đỉnh triều (bước sóng) (m);

$\bar{h}$ : Độ sâu mực nước trung bình (m);

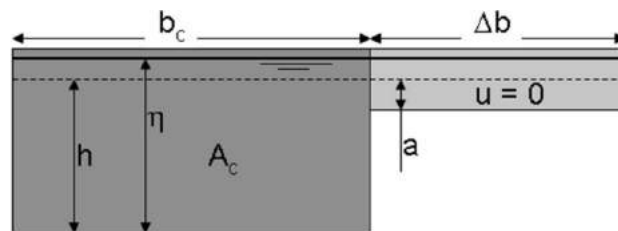
b: Hệ số thu nhỏ bề rộng sông;

$\varepsilon$ : Độ trễ pha giữa vận tốc và mực nước.

$\delta$ : Tốc độ suy giảm của thủy triều.

Nghiên cứu đã kết luận rằng, tỷ lệ giữa biên độ triều và bước sóng triều ( $H/E$ ) tỷ lệ thuận với hình dạng cửa sông ( $h/b$ ). Đây là một phương trình để rút ra ước tính độ sâu cửa sông trên cơ sở các thông số thủy triều quan sát được ( $E, H, \delta, \varepsilon$  và độ thu hẹp cửa sông  $b$ ).

(viii) Deltares đã đề cập đến sự khuếch đại lớn của thủy triều (biên độ triều gia tăng) tại 4 con sông ở châu Âu (Ems, Elbe, Scheldt và Lore) gây ra hậu quả rất lớn. Phân tích dữ liệu này được thực hiện với mô hình phân tích tuyến tính, giải các phương trình nước nông, sự khuếch đại thủy triều ở các con sông này có thể được đặc trưng bởi tham số sóng  $k_i$ , như là một hàm của số hội tụ cửa sông  $\Lambda_e$ , hệ số ma sát  $r^*$  và diện tích bãi triều (thể hiện bởi bề rộng bãi triều  $\Delta b$ ) (Hình 1-23). Sử dụng những con số không thứ nguyên này, sự thay đổi chế độ thủy triều của các cửa sông có thể được tính toán và so sánh. Theo kết quả nghiên cứu, trong trường hợp có nhiều vùng triều hơn, lưu lượng tại cửa sông tăng lên, làm sông sâu thêm và làm mất đi sức cản thủy lực [43].



*Hình 1-23: Minh họa các thông số của sông*

### 1.3.2. Nghiên cứu trong nước

Hiện nay có rất nhiều đề tài dự án đã thực hiện tại Việt Nam đặc biệt tại vùng hạ lưu sông SG-ĐN và ĐBSCL. Tuy nhiên, các dự án này hầu như chỉ quan tâm tới việc mực nước biển dâng mà chưa xét tới việc mực nước dâng cao do thu hẹp các bãi triều. Các nghiên cứu, dự án trong khuôn khổ dự án kiểm soát ngập cho TPHCM cũng đã xét tới vấn đề mực nước dâng lên do xây dựng công trình, xây dựng đê bao ngăn triều. Tuy nhiên các nghiên cứu này còn sơ bộ và chưa được tính toán một cách cụ thể. Một số nhà nghiên cứu vẫn chưa có ý kiến thống nhất với quan điểm mực nước đỉnh triều bị dâng cao khi các bãi triều bị san lấp. Việc đánh giá những thay đổi về cơ cấu sử dụng đất tác động lên mực nước và lưu lượng trong sông còn chưa được đề cập nhiều. Một số nghiên cứu trước đây đã có những động thái đánh giá về vai trò của các bãi triều đến dòng chảy trên sông, điển hình là các nghiên cứu, dự án sau:

- (i) Qua phân tích các số liệu thực đo, mực nước lớn nhất năm tại trạm thủy văn Phú An từ năm 1980 đến năm 2015. Theo kết quả phân tích, từ giai đoạn 1980 đến

năm 2000 tốc độ gia tăng mực nước lớn nhất đạt 0,42 cm/năm nhưng trong giai đoạn từ năm 2000 đến 2015, tốc độ gia tăng mực nước lớn nhất đạt 1,83 cm/năm. Các nguyên nhân chính tác động đến mực nước lớn nhất dâng cao là do (i) Tổ hợp mưa kết hợp triều cường; (ii) Lũ thượng lưu và (iii) Đô thị hoá. Các giải pháp để giảm ngập được đề xuất bao gồm: (i) Phục hồi hệ thống kênh rạch; (ii) Phục hồi mảng xanh trong Thành Phố và (iii) Xây dựng các hồ điều tiết [44].

- (ii) Trong quá trình nghiên cứu sự phát triển của đê bao triệt để trong 20 năm qua, dựa vào mô phỏng thủy lực trước và sau khi xây dựng đê bao, hệ thống đê bao đã làm thay đổi chế độ dòng chảy lũ, mực nước sông dâng cao, chênh lệch mực nước tại các khu vực. Sự thay đổi về đê bao không những làm thay đổi mực nước mà còn làm gia tăng nguy cơ lũ lụt ở những khu vực có ít hoặc không có sự bảo vệ của công trình [45].
- (iii) Kết quả tính toán từ dự án “*Quy hoạch thủy lợi chống ngập cho khu vực Thành Phố Hồ Chí Minh*” cho thấy việc xây dựng các công trình kiểm soát ngập cho TPHCM làm gia tăng mực nước ngoài sông; dự án đã đề xuất cần phải duy trì các hồ điều tiết trong vùng bảo vệ để hỗ trợ trữ nước khi có mưa lớn [24]. Như vậy, dự án này cũng đã đề cập đến việc xây dựng các công trình kiểm soát ngập làm gia tăng mực nước lớn nhất trên sông.
- (iv) Đề tài “*Nghiên cứu ảnh hưởng của hệ thống công trình thủy lợi chống ngập TPHCM đến các vùng dân cư ven sông SG-ĐN*” đã tính toán được sự gia tăng mực nước khi xây dựng công trình kiểm soát ngập cho TPHCM và do biến đổi khí hậu, trên cơ sở đó đề xuất các biện pháp công trình cho từng khu vực ven sông bằng việc xây dựng các công trình bảo vệ [46].
- (v) Đề tài “*Nghiên cứu đề xuất giải pháp tổng thể kiểm soát ngập lũ lưu vực sông Đồng Nai*” đã sử dụng cách tiếp cận “Quản lý rủi ro để kiểm soát ngập lụt một cách bền vững” cho một lưu vực rộng lớn và quan trọng về kinh tế xã hội. Nhiều phương pháp, công cụ mới, tiên tiến dùng để phân tích và mô hình hóa quá trình ngập lụt khi xét đến biến đổi khí hậu đã được phát triển và ứng dụng. Để tính toán mô phỏng ngập lụt cho khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN, nghiên cứu

sử dụng phần mềm TELEMAC-2D cho cả lòng sông và khu vực ngập lụt. Kích thước lưới để mô phỏng trong sông từ 90 m cho chiều dọc và 35 m cho chiều ngang sông, các bãi tràn có kích thước 350 m. Một số tuyến đường nội thành được chia lưới với cạnh phần tử tam giác nhỏ trung bình 3-5 m [47]. Từ các kết quả mô phỏng theo các kịch bản, nghiên cứu đã tiến hành xây dựng bản đồ ngập, xây dựng bộ chỉ số tổn thương do lũ và xây dựng bộ công cụ đánh giá tính dễ tổn thương và rủi ro cho vùng hạ lưu sông SG-ĐN. Trên cơ sở đó xây dựng được bản đồ tổn thương và rủi ro, từ đó đề xuất các giải pháp giảm thiểu cho vùng rủi ro cao trong khu vực.

- (vi) Một nghiên cứu của Phạm Văn Huân cho thấy rằng chuyển động của thủy triều trong lòng dẫn chỉ xảy ra theo phương dọc kênh, trục x [48]. Phương trình chuyển động triều được thể hiện như sau:

$$\zeta = \zeta_0 \cos(nt - kx) \quad (1.21)$$

Trong đó:

$\zeta$  : Biên độ dao động mực nước;

$n$ : Tần số góc ( $n = 2\pi/T$ );

$k$ : số sóng ( $k = 2\pi/L$ );

- (vii) Như vậy cũng như phương trình (1.10), phương trình (1.21) cũng là phương trình chuyển động của triều tại cửa sông. Trong nghiên cứu này cũng đã đề cập đến ảnh hưởng của lực Coriolis và ảnh hưởng của ma sát tới chuyển động triều.
- (viii) Nghiên cứu của Phạm Thế Vinh và Nguyễn Ân Niên đã phân ra thành 2 loại bãi triều: (i) Bãi triều biệt lập nằm ven sông nhưng qua kết nối (công trình hoặc rạch nhỏ), bãi triều có thể kết nối với 1 hoặc nhiều sông, rạch; (ii) Bãi triều nằm kế bên sông (Hình 1-24) và có thể trao đổi khối lượng và động lượng với sông chính. Từ tính toán thành phần nguồn nước có thể xác định được khối nước triều chứa vào ô trũng. Khi bãi triều bị lấp các nguồn này được trả ngược về sông chính và bằng tính toán thành phần nguồn nước có thể xác định được thành phần nước gia tăng ở các vị trí và thời điểm khác nhau trong hệ thống. Hai loại bãi triều này được tính toán bằng mô hình thủy lực 1 chiều với bề rộng mặt cắt được



mở rộng hoặc sử dụng mô hình 2 chiều để xác định mức độ gia tăng mực nước lớn nhất trên sông. Nghiên cứu cũng kết luận: (i) Với trường hợp san lấp các bãi triều hoặc thu hẹp các nhánh kênh rạch vốn chứa nước khi triều lên bằng các công, đập việc đánh giá ảnh hưởng triều được thông qua tính toán phân bố lại phần nước triều bị đẩy ra sông; (ii) Ảnh hưởng triều hiện tại hay khi có thêm tác động của nước biển dâng được đánh giá trực tiếp qua thành phần nguồn nước hạ lưu. Hướng tới việc xây dựng quan hệ của các yếu tố này với tỷ lệ biên độ triều so với trị số tại cửa sông; (iii) Chứng minh được rằng khi lũ lên ảnh hưởng triều lên thượng lưu triết giảm nhanh và ngược lại khi lũ rút ảnh hưởng đó triết giảm chậm hơn thông thường [22].



Bãi triều biệt lập



Bãi triều nằm kế bên sông

*Hình 1-24: Vị trí bãi triều trong hệ thống sông*

(ix) Nguyễn Ân Niên, Phạm Thế Vinh, Đỗ Đắc Hải đã thử tìm tốc độ truyền triều trong hệ thống sông ngòi tại khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN. Nghiên cứu phân ra hai dạng vận tốc trong lòng dẫn vùng ảnh hưởng triều [49] như sau:

- Tốc độ dòng chảy  $v$  (trung bình mặt cắt) là tốc độ truyền vật chất của dòng chảy:

$$v=Q/A \quad (1.22)$$

Trong đó:

Q: lưu lượng dòng chảy qua mặt cắt;

A: diện tích mặt cắt ướt.

- Tốc độ truyền sóng  $c$  (celerity):

$$c = (gA/B)^{1/2} \quad (1.23)$$

Trong đó:

B: bề rộng mặt thoáng của mặt cắt;

g: gia tốc trọng trường;

- Tốc độ lan truyền ảnh hưởng có tính đến tốc độ lôi kéo của dòng chảy gọi là tốc độ đặc trưng  $\lambda$ :

$$\lambda = v \pm c \quad (1.24)$$

Đây là đặc trưng quan trọng trong xác định tính chất và điều kiện bền vững (ổn định) của các sơ đồ tính. Nghiên cứu cũng đánh giá tốc độ truyền triều trên cơ sở lý thuyết về dạng bất biến thứ ba của hệ phương trình thủy động lực học [50], từ đó xác định được vận tốc truyền triều theo phương trình:

$$\bar{c} = -\frac{4}{3} c_o \frac{h_o}{\Delta z} \left[ 1 - \left( 1 + \frac{\Delta z}{2h_o} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (1.25)$$

Trong đó:

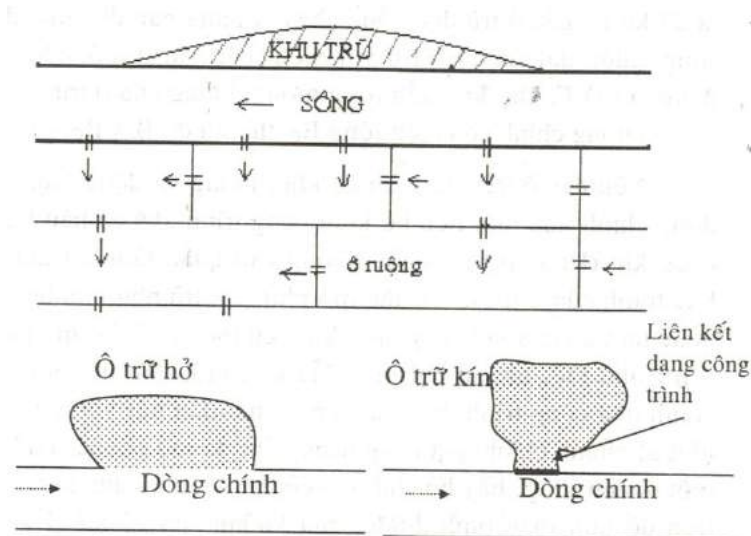
$c_o$ : Vận tốc truyền sóng ban đầu;

$h_o$ : độ sâu mực nước tại thời điểm ban đầu;

$\Delta z$ : Chênh lệch mực nước giữa hai thời điểm.

Biểu thức chỉ rõ khi triều lên ( $\Delta z > 0$ ) thì  $\bar{c} < 0$  (truyền ngược) và ngược lại. Tốc độ truyền triều cũng được áp dụng cho tính toán thực tế cho đoạn Nhà Bè - Phú An là 7,8- 9,3 m/s khi triều lên; 7,8- 8,5 m/s khi triều xuống và phù hợp với thực tế tính toán giữa các pha triều thực đo của trạm Nhà Bè và Phú An. Tốc độ truyền triều này là lớn hơn rất nhiều so với tốc độ dòng chảy khoảng 1,0- 1,9 m/s.

- (x) Theo Nguyễn Tất Đắc, các ô chứa được phân làm hai loại: (i) Ô trữ kín: các ô trữ trao đổi cả khối lượng và động lượng qua mối liên hệ kiểu công trình (Hình 1-25). Trong trường hợp này có thể mô phỏng ô trữ như một hồ chứa hoặc một đoạn sông. Tùy điều kiện cụ thể mà có thể mô phỏng ô trữ như một nhánh cắt một đầu còn đầu nối với dòng chính qua công trình. và (ii) Ô trữ hở: các ô chứa dọc dòng chảy có thể trao đổi khối lượng và động lượng với dòng chính [21].



*Hình 1-25: Sơ đồ dòng chảy giữa sông và các ô ruộng trữ*

Trong thực tế thường gặp các trường hợp các ô chứa chỉ đóng vai trò trữ nước còn có thể bỏ qua sự trao đổi động lượng. Trong trường hợp này có thể đưa chiều rộng trữ tương đương vào chiều rộng  $B$  tức là đã kể tới các ô trữ dọc dòng chảy (khi đó  $B = B_c + B_{bãi}$ ). Đây cũng là cách để mô phỏng bãi triều trong nghiên cứu.

- (xi) Theo Vũ Văn Tảo và Nguyễn Cảnh Cầm, dòng không ổn định là các yếu tố chuyển động phụ thuộc vào thời gian [51], thể hiện bằng các biểu thức:

$$u = u(x, y, z, t); \quad (1.26)$$

$$p = p(x, y, z, t); \quad (1.27)$$

Trong đó:

- $u$ : Vận tốc của phần tử chất lỏng
- $p$ : Áp suất thủy động học
- $x, y, z$ : Tọa độ trong không gian ba chiều
- $t$ : Thời gian

Như vậy, nếu dòng chảy ổn định thì bãi triều không đóng vai trò trong việc giảm mực nước lòng dẫn ngoại trừ khi ngăn cách bãi sông và dòng chính làm cho việc xáo trộn ở biên giới giữa bãi và dòng chính không còn, sức cản giảm làm mực nước trong lòng sông giảm. Do đó, tác động của bãi triều chỉ nổi rõ trong

trường hợp dòng biến đổi theo thời gian (dòng không ổn định). Vì vậy ở hạ lưu SG-ĐN với chế độ bán nhật triều nên vai trò bãi triều càng nổi bật.

- (xii) Ngoài ra còn một số nghiên cứu về kiểm soát ngập cho TPHCM có sự tham gia của tư vấn nước ngoài như dự án “Quy hoạch tổng thể đến 2020” được Thủ tướng Chính Phủ đã phê duyệt vào năm 2001 nhằm cải tạo, xây dựng hệ thống thoát nước mưa trong khu vực nội thành cũng chỉ tính toán với mực nước lớn nhất ngoài sông là +1,32 mà hiện nay đã dâng lên trên mức này khá nhiều. Nghiên cứu “*Chống ngập nước cho TPHCM*” thực hiện năm 2012 của Royal Haskoning cũng đề xuất các biện pháp công trình bảo vệ bằng đê bao và các công kiểm soát triều, đề xuất sử dụng không gian dành cho nước (room for river) [52] nhưng việc đánh giá tác động của các bãi triều đến lưu lượng và mực nước chưa được đề cập.

### 1.3.3. Những vấn đề còn tồn tại trong các nghiên cứu trước

- **Nghiên cứu trên thế giới**

Có thể nhận thấy rằng, sự phát triển hạ tầng tại những vùng đất thấp đã hình thành từ rất lâu bởi nhu cầu của con người. Trong những năm gần đây, do sự phát triển dân số tăng nhanh, nhu cầu sử dụng đất cũng theo đó càng mở rộng. Các nghiên cứu, số liệu thực đo ở các khu vực khác nhau trên thế giới đã đưa ra những chứng cứ cho việc thay đổi dòng chảy trên sông. Các công cụ phân tích về thủy động lực đã được áp dụng để đánh giá tác động của các can thiệp đó vì việc phân tích cung cấp cách nhìn sâu sắc trong các mối quan hệ giữa các thông số. Các nghiên cứu trước đây đã phân tích tác động của triều vào cửa sông và mô tả các thông số như ma sát, hình dạng cửa sông, lưu lượng thượng lưu tác động đến các thông số về thủy triều. Một số nghiên cứu đã đưa ra các thông số bãi triều tác động vào dòng chảy sông thông qua tỷ lệ  $r_s$  ( $r_s = B_s/B$ ) (1.15). Theo một số nghiên cứu, trong trường hợp có nhiều vùng triều hơn sẽ tác động làm sông sâu thêm và làm mất đi sức cản thủy lực. Tuy nhiên các nghiên cứu trên chưa nghiên cứu sâu về tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trên sông.

- **Nghiên cứu trong nước**

Các nghiên cứu, dự án đã thực hiện trong khu vực SG-ĐN hầu như đã tính toán đến mực nước gia tăng do BĐKH tác động đến mực nước trong sông. Một số dự án đã tính toán việc mực nước dâng cao thêm khi xây dựng các công trình kiểm soát ngập. Các giải pháp đã đề cập đến vấn đề nạo vét kênh rạch, xây dựng thêm các hồ điều tiết để tăng thêm dung tích điều hoà dòng chảy do mưa và do triều. Một số nghiên cứu đã đề cập đến thành phần ô trữ trong việc thiết lập mô hình diễn toán dòng chảy trong sông, một số nghiên cứu đã đề cập đến sự gia tăng mực nước có tính đến thành phần mặn. Một số nghiên cứu đã đề cập đến tác động của bãi triều đến mực nước trong sông thông qua tính toán phân bố thành phần nguồn nước. Cùng với các nghiên cứu này, luận án phân tích sâu thêm về đánh giá tác động của các bãi triều đến mực nước và lưu lượng trên sông. Trong thực tế, việc đô thị hóa, xây dựng các đê bao bảo vệ sản xuất, xây dựng các đường giao thông mới phục vụ phát triển kinh tế xã hội đã làm mất đi phần nào những bãi chứa triều. Các tác động này hiện nay đã làm cho mực nước trên sông thuộc khu vực hạ lưu sông SG-ĐN gia tăng, các trị số mực nước lớn nhất đo được theo từng năm ngày càng cao và xác lập mốc lịch sử mới. Tốc độ gia tăng mực nước đã làm cho công tác nghiên cứu, thiết kế, quản lý và vận hành gặp không ít khó khăn. Do vậy, việc nghiên cứu tác động của các bãi ngập triều đến mực nước và lưu lượng trên sông cần phải nghiên cứu sâu hơn để xem xét cách thức và mức độ tác động.

Vì vậy, luận án này sẽ làm rõ tác động của các bãi triều đến lưu lượng và mực nước trên sông bằng việc xác định mối quan hệ mật thiết giữa chiều rộng bãi triều với mực nước và lưu lượng trên sông thông qua việc phân tích các thông số trong phương trình thủy động lực cũng như mô phỏng bằng mô hình toán.

#### **1.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 1**

- Khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN có mạng lưới kênh rạch dày và liên thông với nhau. Đặc điểm địa hình của khu vực này khá thấp, chiếm phần lớn diện tích và là nơi chịu tác động mạnh của thủy triều. Qua phân tích thống kê, tốc độ gia tăng rất nhanh mực nước lớn nhất trong những năm gần đây làm cho tình trạng ngập úng ngày càng tăng. Các nguyên nhân chủ yếu gây ngập trong khu vực nghiên cứu có thể kể

đến: (i) Mưa lớn; (ii) Triều cường; (iii) Lũ thượng lưu; (iv) Biến đổi khí hậu; (v) Đô thị hoá; (vi) Lún nền. Tuy nhiên, một điểm đáng lưu ý là sự phát triển kinh tế, sản xuất trong những năm qua đã làm thu hẹp các bãi triều và liệu việc thu hẹp các bãi triều có phải là một trong những nguyên nhân làm cho mực nước trên các sông gia tăng trong những năm gần đây hay không?

- Theo một số kết quả nghiên cứu, tại một số khu vực mà diện tích bãi triều ít biến động, gia tăng mực nước lớn nhất thực đo tại các trạm trong sông gần giống với gia tăng mực nước lớn nhất thực đo ngoài cửa sông. Đối với những khu vực hạ lưu mà diện tích bãi triều thu hẹp mạnh gia tăng mực nước lớn nhất thực đo tại các trạm trong sông lớn hơn nhiều so với gia tăng mực nước lớn nhất thực đo ngoài cửa sông. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng: *“Sự can thiệp của con người vào mực nước sông tại các đồng bằng châu thổ có tác động lớn hơn so với mực nước biển dâng”* [25]. Đây cũng là cơ sở để củng cố hướng nghiên cứu của luận án.

- Đã có nhiều nghiên cứu đề cập đến việc phân tích lý thuyết về truyền triều tại cửa sông. Những nghiên cứu về tác động lưu lượng thượng lưu đến sự suy giảm của thủy triều cũng đã được đề cập. Một số nghiên cứu đã đề cập đến tác động của địa hình đến chế độ thủy triều của sông dựa trên việc giải và đơn giản hoá phương trình St. Venant. Một số nghiên cứu đã chỉ ra: *“Tỷ lệ giữa biên độ triều và phạm vi thủy triều ngang ( $H/E$ ) tỷ lệ thuận với hình dạng cửa sông ( $h/b$ )”* [42]. Đã có những nghiên cứu của đề cập đến sự khuếch đại lớn của thủy triều (biên độ triều gia tăng) tại các con sông ở châu Âu gây ra hậu quả rất lớn [43].

- Các nghiên cứu được thực hiện tại Việt Nam chưa đề cập đến việc tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trên sông. Từ những lý do trên, nghiên cứu này sẽ minh chứng và làm rõ tác động của các bãi triều đến lưu lượng và mực nước trên sông bằng việc phân tích các thông số trong phương trình thủy động lực cũng như mô phỏng bằng mô hình toán.



## CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ XÂY DỰNG CÔNG CỤ NGHIÊN CỨU

### 2.1. CƠ SỞ KHOA HỌC VỀ QUAN HỆ CỦA BÃI TRIỀU ĐẾN MỨC NƯỚC VÀ LƯU LƯỢNG

#### 2.1.1. Cơ sở phân tích khoa học

Để phân tích cơ sở khoa học về quan hệ giữa bãi triều với mực nước và lưu lượng trên sông, luận án đã dựa vào việc phân tích các thông số của phương trình thủy động lực (phương trình 1.1; 1.2) và phương trình truyền triều được mô tả bằng hàm của sóng tuần hoàn (phương trình 1.10) nếu coi quá trình truyền triều vào cửa sông như một chuyển động sóng. Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong mục 2.1.2 và 2.1.3.

#### 2.1.2. Tác động của bãi triều đến mực nước

- Hệ phương trình thủy động lực có thể được biểu diễn tả dưới nhiều dạng khác nhau. Đối với biến phụ thuộc  $Q(x,t)$ ,  $H(x,t)$ , phương trình được viết như sau:

Phương trình liên tục (PTLT).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2.1)$$

Phương trình động lượng (PTĐL)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} = gA(i_x - j_x) \quad (2.2)$$

Trong đó:

$Q$ : Lưu lượng mặt cắt ( $m^3/s$ )

$A$ : Diện tích mặt cắt ( $m^2$ )

$q$ : Lượng nhập khu giữa ( $m^3/m/s$ )

$H$ : Độ sâu mực nước (m)

$i_x$ : Độ dốc đáy

$j_x$ : Độ dốc thủy lực

Đối với dòng nhập lưu ( $q$ ) trong phương trình (2.1), nếu  $q > 0$  thì dòng chảy nhập lưu có giá trị dương và chảy vào lòng dẫn làm gia tăng mực nước và lưu lượng trên sông.

Ngược lại, nếu  $q < 0$  thì dòng chảy nhập lưu có giá trị âm và chảy ra khỏi lòng dẫn làm giảm mực nước và lưu lượng trên sông.

Nếu viết theo biến phụ thuộc  $Q(x,t)$ ,  $Z(x,t)$  và cao độ mực nước  $Z(x,t) = H(x,t) + d(x,t)$  với  $d(x,t)$  là cao độ đáy sông, phương trình (2.1) có thể viết dưới dạng sau:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + Bc \frac{\partial Z}{\partial t} = q \quad (2.3)$$

Trong đó:

$B_c$ : là bề rộng mặt cắt sông và bãi (m)

Nếu phân chia bề rộng mặt cắt sông thành hai thành phần ( $B$  và  $B_{bãi}$ ) (Hình 2-1) và không có dòng chảy nhập lưu thì phương trình (2.3) có thể viết dưới dạng:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + (B + B_{bãi}) \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \quad (2.4)$$

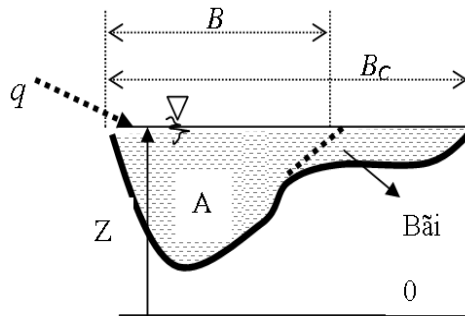
Trong đó:

$B$ : là bề rộng mặt cắt sông (m)

$B_{bãi}$ : là bề rộng mặt cắt bãi (m)

Biến đổi phương trình (2.4):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial Z}{\partial t} = -B_{bãi} \frac{\partial Z}{\partial t} \quad (2.5)$$



Hình 2-1: Mặt cắt ngang sông điển hình

Theo minh họa trên và theo (2.5) ta thấy vế phải  $(-B_{bãi} \frac{\partial Z}{\partial t})$  như một dòng chảy khu giữa. Trong thời điểm triều lên,  $Z_2 > Z_1$  và trị số  $\frac{\partial Z}{\partial t} > 0$  và giá trị  $-B_{bãi} \frac{\partial Z}{\partial t} < 0$ . Trong thời điểm triều rút,  $Z_2 < Z_1$  và trị số  $\frac{\partial Z}{\partial t} < 0$  và giá trị  $-B_{bãi} \frac{\partial Z}{\partial t} > 0$ .

Như đã phân tích ở trên, khi dòng chảy khu giữa dương (thời điểm triều lên) thì mực nước lớn nhất trên sông giảm đi và ngược lại khi dòng chảy khu giữa âm (thời điểm triều rút) thì mực nước nhỏ nhất trên sông tăng lên.

- Nếu coi quá trình truyền triều vào cửa sông như một chuyển động sóng (Hình 2-2) thì phương trình này được mô tả bằng hàm của sóng tuần hoàn (hàm sin hoặc cosin). Theo Leo C. Van Rijn, với cửa sông không có dòng nhập lưu ( $q$ ), lòng dẫn rộng ( $B_c \gg H$ ) với mặt cắt ngang hình chữ nhật có bề rộng không đổi [38], phương trình truyền sóng như sau:

$$\eta = \hat{\eta} \cos(\omega(t - \frac{x}{c})) = \hat{\eta} \cos(\omega t - kx) \quad (2.6)$$

Trong đó:

$\hat{\eta}$ : Biên độ sóng (m);

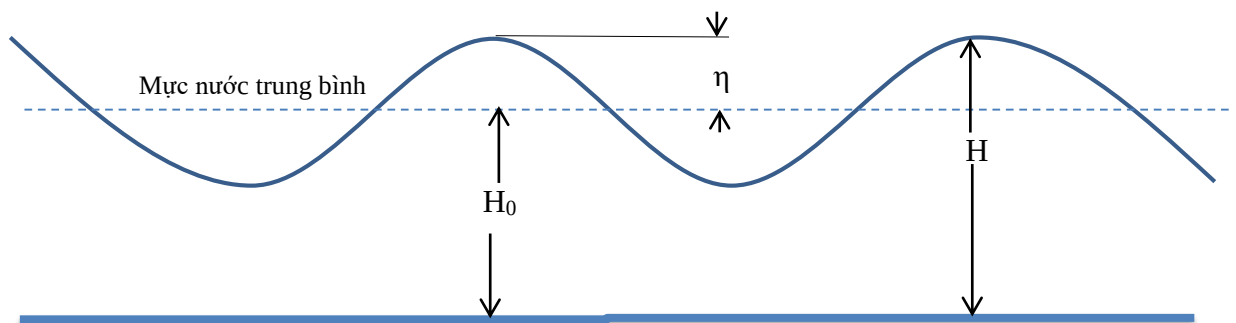
$\omega$ : Tần số góc ( $\omega = 2\pi/T$ );

$c$ : Vận tốc truyền sóng ( $c=L/T = \omega/k$ );

$k$ : số sóng ( $k = 2\pi/L$ );

$T$ : Chu kỳ sóng;

$L$ : Chiều dài sóng (m).



*Hình 2-2: Minh họa các tham số của sóng triều*

Vận tốc truyền sóng trong sông [38] tính theo công thức:

$$c = \sqrt{\frac{Ag}{B_c}} \quad (2.7)$$

Trong trường hợp lòng dẫn hình chữ nhật và không có bãi triều, phương trình (2.7) trở thành:

$$c = \sqrt{\frac{B_c Hg}{B_c}} = \sqrt{Hg}$$

Nếu coi mặt cắt lòng dẫn và bãi triều là hình chữ nhật thì (2.7) có thể viết thành:

$$c = \sqrt{\frac{(HB + H_{bãi} B_{bãi})g}{B + B_{bãi}}} \quad (2.8)$$

Trong đó :  $H_{bãi}$  : là độ sâu mực nước của bãi triều.

Nếu coi độ sâu trong bãi triều ( $H_{bãi}$ ) nhỏ thì phương trình (2.8) thành:

$$c = \sqrt{\frac{HBg}{B + B_{bãi}}} \quad (2.9)$$

Xét trong trường hợp sóng bị thay đổi do vào trong sông với địa hình lòng sông nâng cao (sóng phản xạ một phần, Hình 2-3). Độ dài của sóng ( $L_2 = c_2 T$ ) giảm do chu kỳ sóng ( $T$ ) không đổi. Theo phương trình cân bằng khối lượng chất lỏng dẫn tới:

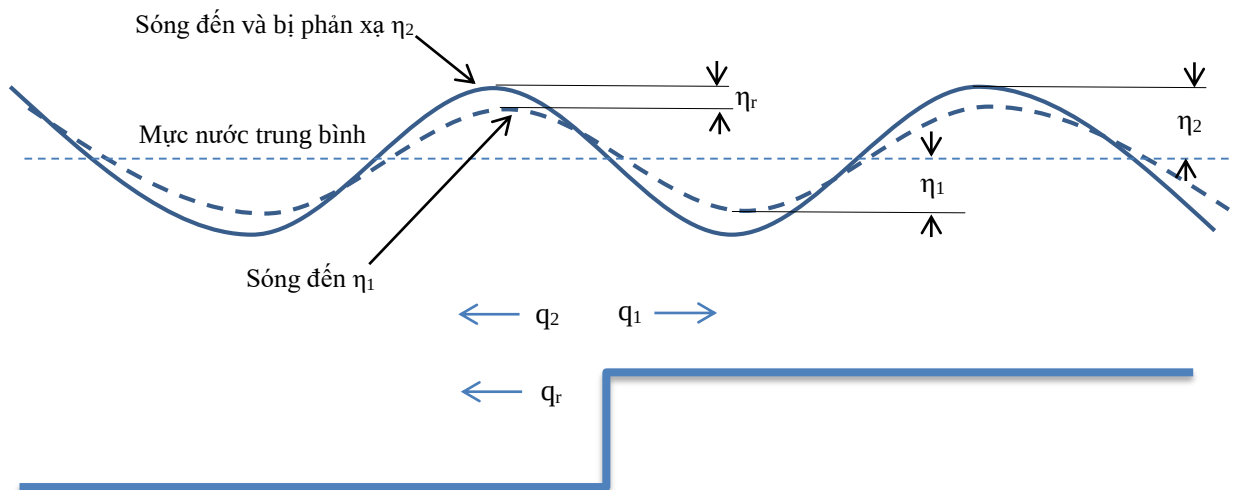
$$q_2 = q_1 - q_r \text{ với } q = c\eta$$

Như vậy:

$$c_2 \hat{\eta}_2 = c_1 \hat{\eta}_1 - c_1 \hat{\eta}_r \quad (2.10)$$

Tại bậc đáy thấp, biên độ sóng bằng nhau ta có:

$$\hat{\eta}_2 = \hat{\eta}_1 + \hat{\eta}_r \quad (2.11)$$



*Hình 2-3: Minh họa phản xạ sóng do độ sâu thay đổi*

Thay (2.10) vào (2.11), biên độ sóng gia tăng lên so với trường hợp không bị phản xạ như sau:

$$\hat{\eta}_r = \hat{\eta}_1 \frac{c_1 - c_2}{c_1 + c_2}$$

Tương tự, xét trong trường hợp sóng bị thay đổi do vào trong sông có xét đến phần bãi triều ven sông, lúc này sóng bị hấp thụ bởi các bãi triều (Hình 2-4). Theo phương trình cân bằng khối lượng chất lỏng cũng dẫn tới:

$$Q_2 = Q_1 - Q_r$$

Và:  $c_2 \hat{\eta}_2 = c_1 \hat{\eta}_1 - c_1 \hat{\eta}_r$

Tại bậc đáy thấp, biên độ sóng bằng nhau ta có:

$$\hat{\eta}_2 = \hat{\eta}_1 - \hat{\eta}_r$$

Biên độ sóng giảm đi so với trường hợp không có bãi triều như sau:

$$\hat{\eta}_r = -\hat{\eta}_1 \frac{c_1 - c_2}{c_1 + c_2} \quad (2.12)$$

Thay giá trị c trong (2.9) vào phương trình (2.12) ta được:

$$\hat{\eta}_r = -\hat{\eta}_1 \frac{\sqrt{H_1 g} - \sqrt{\frac{H_2 B g}{B + B_{bãi}}}}{\sqrt{H_1 g} + \sqrt{\frac{H_2 B g}{B + B_{bãi}}}} \quad (2.13)$$

Do lòng sâu sâu nên có thể coi cao trình mực nước ( $H_1 = H_2$ ), khi đó (2.13) trở thành:

$$\hat{\eta}_r = -\hat{\eta}_1 \frac{1 - \sqrt{\frac{B}{B + B_{bãi}}}}{1 + \sqrt{\frac{B}{B + B_{bãi}}}} \quad (2.14)$$

Nếu đặt:  $r_b = \frac{B}{B + B_{bãi}}$  (2.15)

Trong đó:  $r_b$  là tỷ lệ giữa bề rộng sông và bề rộng sông tính cả bãi triều. Tỷ lệ này càng nhỏ thì bãi triều càng lớn ( $0 < r_b \leq 1$ ).

Thì phương trình thay (2.15) vào (2.14) phương trình trở thành:

$$\hat{\eta}_r = -\hat{\eta}_1 \frac{1 - \sqrt{r_b}}{1 + \sqrt{r_b}} \quad (2.16)$$

Theo phương trình (2.16), với bề rộng sông (B) và độ sâu cột nước (H) không đổi, thì bề rộng bãi càng lớn trị số  $r_b$  càng nhỏ và trị số  $\frac{c_1 - c_2}{c_1 + c_2}$  trong phương trình (2.12) càng lớn dẫn đến biên độ sóng  $\eta_r$  càng giảm nhiều làm cho mực nước đỉnh triều hạ thấp, chân triều cao lên.

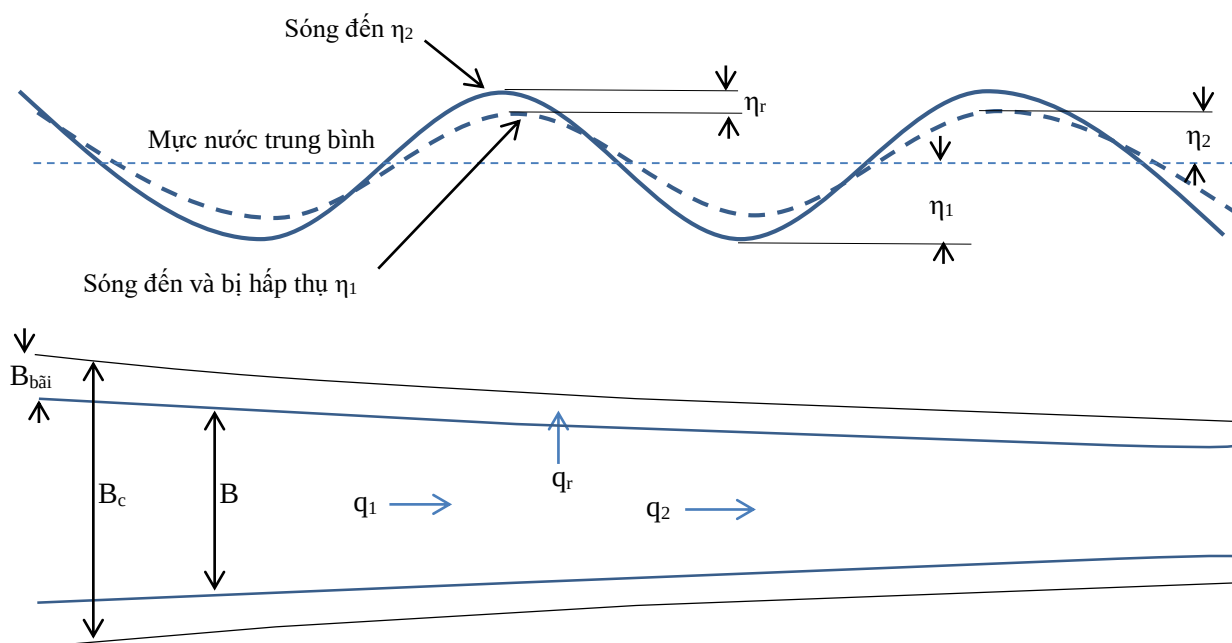
### 2.1.3. Tác động của bãi triều đến lưu lượng

Về lưu lượng lòng dẫn khi có bãi, lưu lượng sau khi qua bãi triều (ở thượng lưu bãi triều) giảm đi với trị số  $q_r$  như sau:

$$q_r = -\hat{\eta}_1 \sqrt{gH_1} \frac{1 - \sqrt{\frac{B}{B + B_{bãi}}}}{1 + \sqrt{\frac{B}{B + B_{bãi}}}} \quad (2.17)$$

Thì phương trình thay (2.15) vào (2.17) phương trình trở thành:

$$q_r = -\hat{\eta}_1 \sqrt{gH_1} \frac{1 - \sqrt{r_b}}{1 + \sqrt{r_b}} \quad (2.18)$$



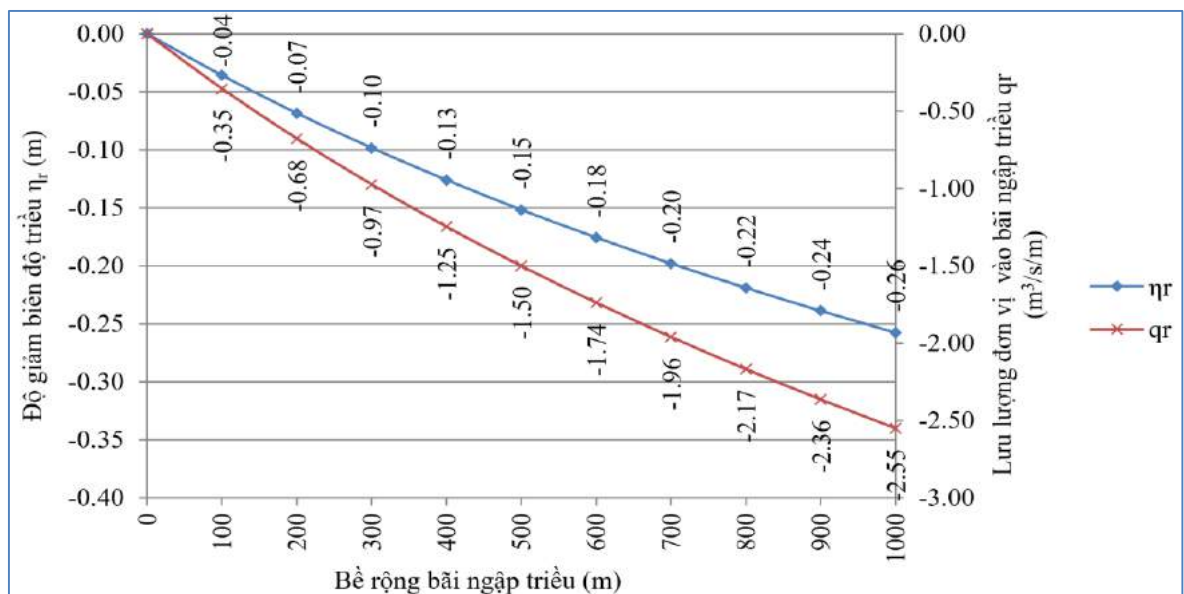
Hình 2-4: Minh họa bị hấp thụ sóng do bãi triều thay đổi



Nếu viết dưới dạng không thứ nguyên, và đặt  $\beta_b = \frac{\hat{\eta}_r}{\hat{\eta}_1}$  (tỷ lệ giữa độ giảm biên độ sóng và biên độ sóng khi có bãi triều,  $-1 < \beta_b \leq 0$ ),  $\beta_b$  có thể viết như sau:

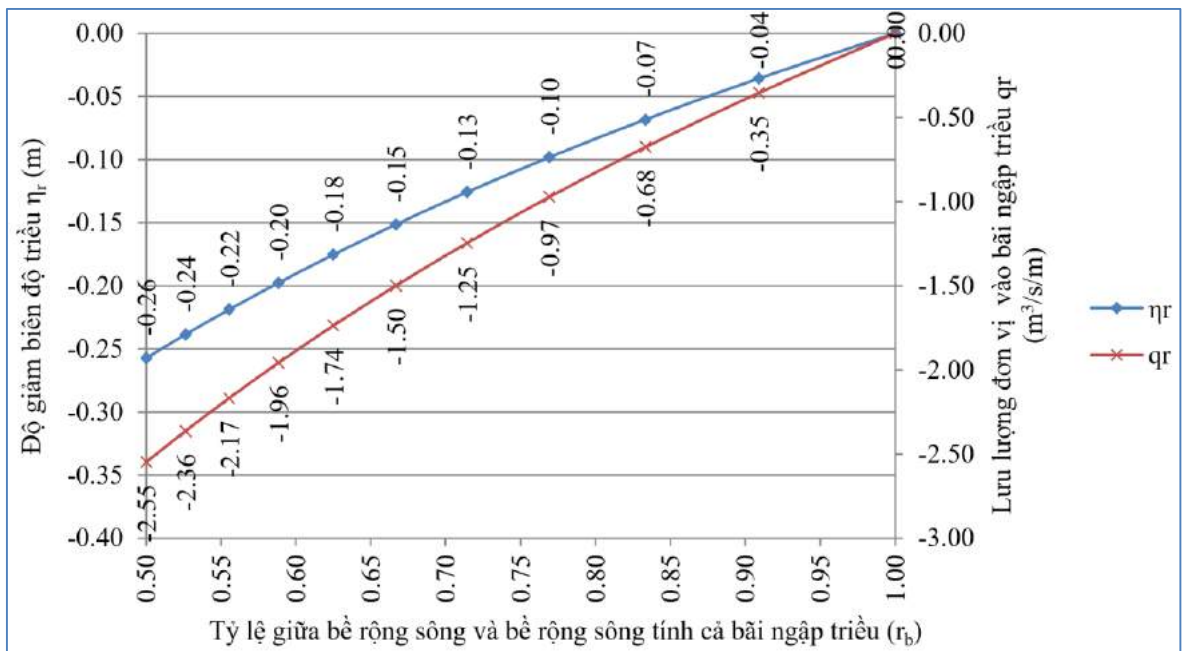
$$\beta_b = \frac{\hat{\eta}_r}{\hat{\eta}_1} = \frac{q_r}{\hat{\eta}_r \sqrt{gH_1}} = -\frac{1 - \sqrt{r_b}}{1 + \sqrt{r_b}} \quad (2.19)$$

Một ví dụ với số liệu cụ thể cho phương trình (2.16), (2.18) và (2.19): Giả thiết bề rộng sông  $B = 1.000$  m; biên độ triều  $\eta_1 = 1,5$  m; độ sâu mực nước  $H = 10$  m, bề rộng bãi triều được giả định từ 100 m đến 1000 m.

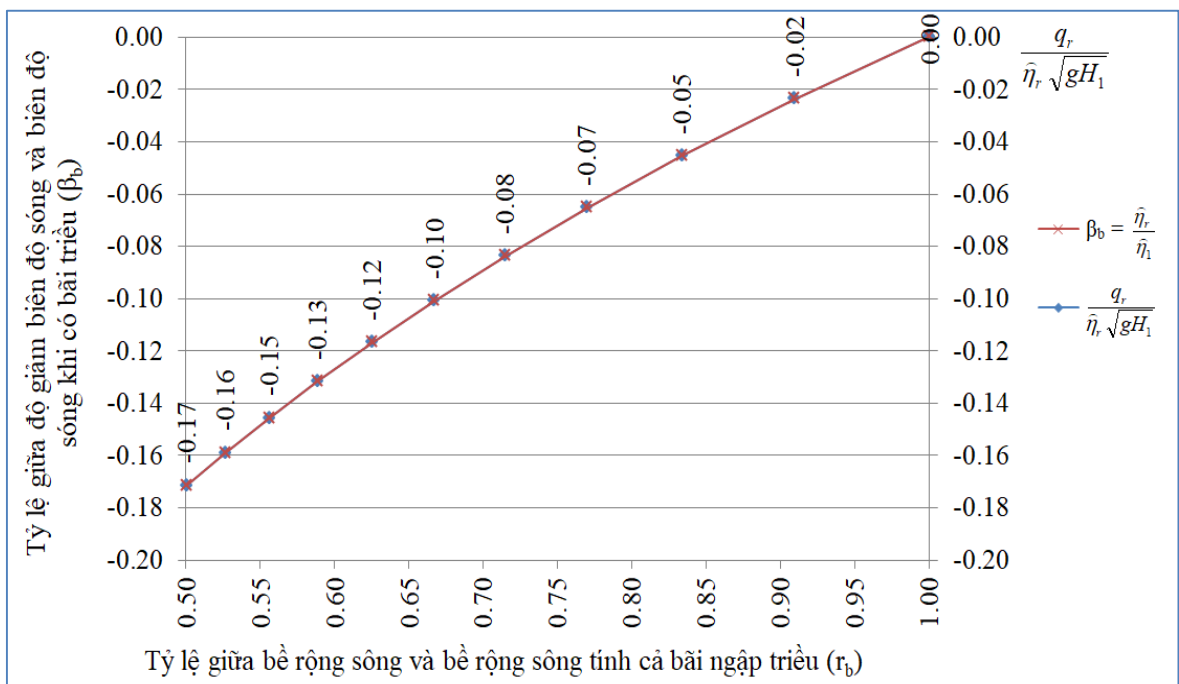


*Hình 2-5: Quan hệ giữa bề rộng bãi triều với độ giảm biên độ triều và lưu lượng đơn vị vào bãi triều*

Theo kết quả tính toán, bề rộng bãi triều càng lớn thì biên độ triều giảm càng nhiều, lưu lượng vào ( $q_r$ ) bãi triều càng lớn (Hình 2-5). Nếu xét về hệ số  $r_b$ , hệ số này càng nhỏ thì biên độ triều giảm càng lớn (Hình 2-6). Khi phân tích không thứ nguyên, tỷ lệ  $r_b$  càng nhỏ (bãi triều càng lớn) thì tỷ lệ  $\beta_b$  càng nhỏ (độ giảm mực nước lớn nhất càng nhiều) (Hình 2-7).



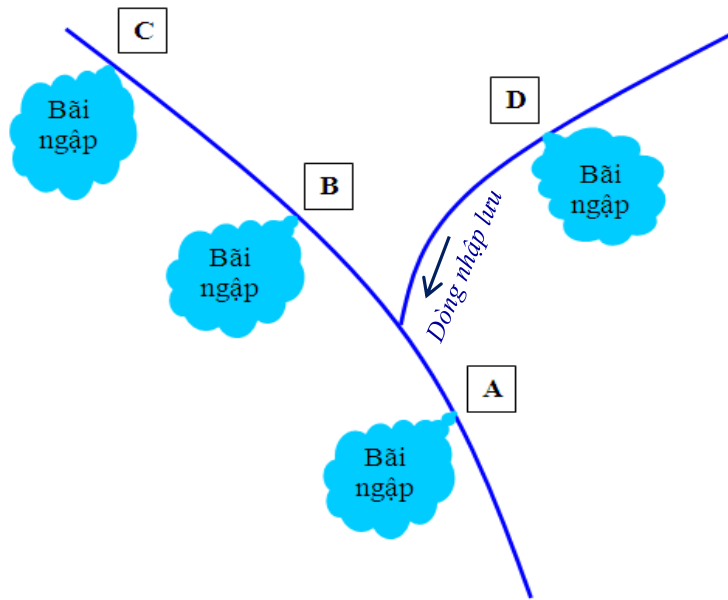
Hình 2-6: Quan hệ giữa  $r_b$  với độ giảm biên độ triều và lưu lượng vào bãi triều



Hình 2-7: Quan hệ giữa  $r_b$  với  $\beta_b$

Các phân tích cụ thể về cơ sở lý thuyết đã minh chứng tác động của bãi triều đến mực nước trên sông khá rõ ràng. Tuy nhiên, trong điều kiện thực tế, các bãi triều có thể nằm ven sông, có thể nằm trong các sông nhánh (Hình 2-8) và quá trình phân tích tính toán phức tạp hơn nhiều. Trường hợp này có thể coi kênh nhánh đổ ra sông như

một dòng nhập lưu. Theo phương trình (2.5) thì khi có thêm dòng nhập lưu với lưu lượng âm khi triều lên thì mực nước trên sông giảm đi và điều này được minh chứng và kiểm nghiệm lại trong quá trình phân tích và tính toán bằng mô hình toán số trong nghiên cứu này.



Hình 2-8: Bãi triều ven sông và bãi triều trong dòng nhập lưu

#### 2.1.4. Tác động của mặt cắt lòng dẫn đến mực nước và lưu lượng

Đối với trường hợp mở rộng lòng dẫn, như ta đã biết khi mở rộng mặt cắt theo chiều ngang hoặc chiều sâu thì lưu lượng trong sông (khi chưa mở rộng mặt cắt  $q_1$ ) nhỏ hơn lưu lượng trong sông (khi mở rộng mặt cắt  $q_2$ ):  $q_1 < q_2$ .

Theo công thức truyền sóng (2.7):  $c = \sqrt{\frac{Ag}{B_c}}$ , và trong trường hợp không có bãi triều

( $B = B_c$ ), lòng dẫn là chữ nhật thì:

$$c = \sqrt{gH} \text{ và } q = \eta \sqrt{gH} = \eta \sqrt{g(H_o + \eta)} \quad (2.19)$$

Xét trong hai trường hợp trên ta có:

$$q_1 = c_1 \eta_1 = \eta_1 \sqrt{g(H_o + \eta_1)} \quad (2.20)$$

$$q_2 = c_2 \eta_2 = \eta_2 \sqrt{g(H_o + \eta_2)} \quad (2.21)$$

Như vậy, nếu  $q_2 > q_1$  thì theo phương trình (2.20) và (2.21);  $\eta_2 > \eta_1$  và việc mở rộng mặt cắt lòng dẫn làm cho biên độ triều tăng lên. Mức nước lớn nhất gia tăng và mức nước nhỏ nhất giảm đi.

## **2.2. TÀI LIỆU PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU**

Các số liệu chủ yếu được thu thập phục vụ cho công tác nghiên cứu được trình bày dưới đây:

### **2.2.1. Tài liệu địa hình**

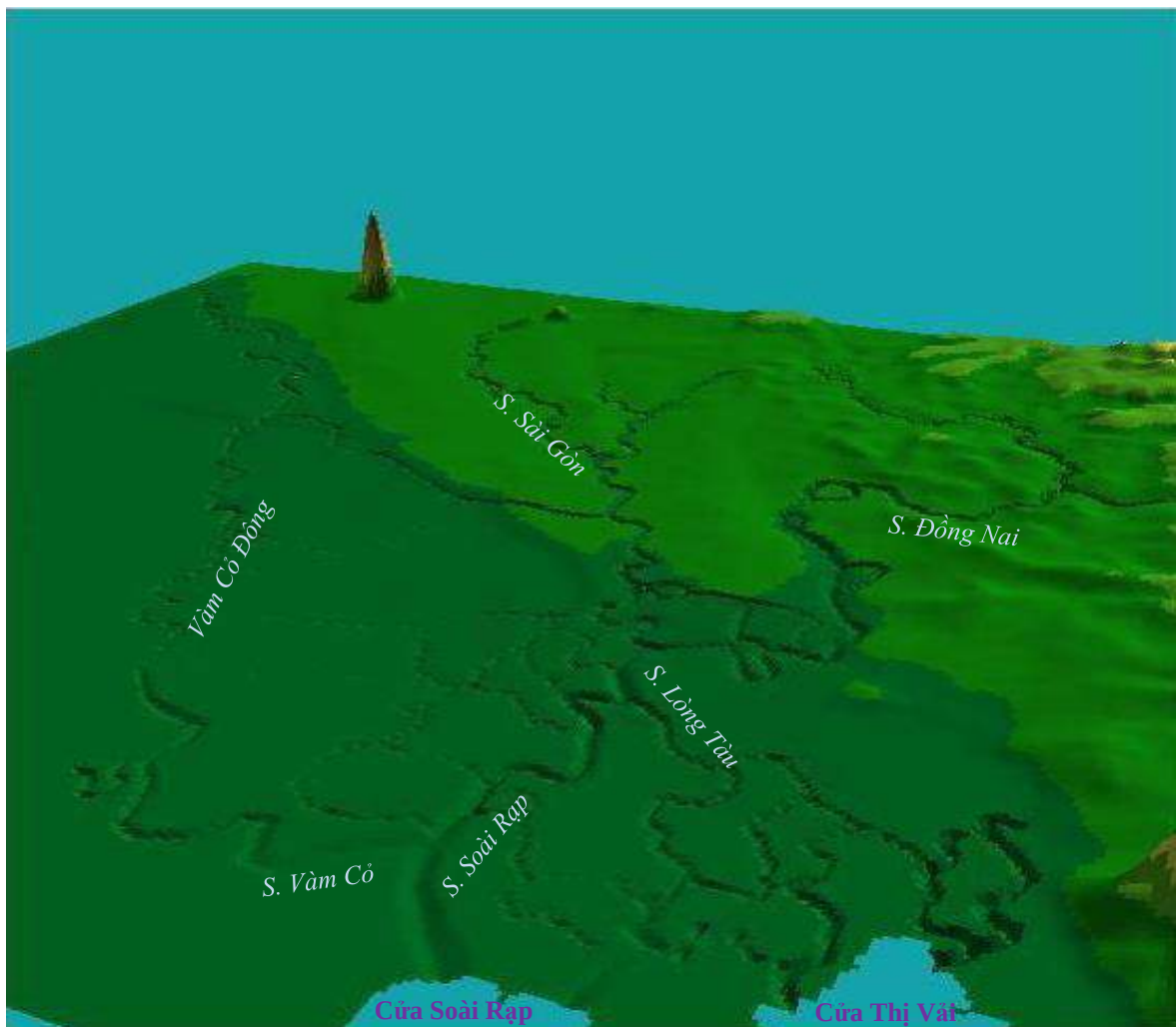
Tài liệu này phục vụ cho việc phân tích đánh giá các bãi triều hiện có trong vùng nghiên cứu; xây dựng mô hình thủy lực 1 chiều và 2 chiều. Số liệu địa hình bao gồm:

- Địa hình mặt cắt sông toàn bộ sông kênh khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam thực hiện trong các dự án trước đây. Nguồn tài liệu này chủ yếu được đo đạc từ năm 2006-2018.
- Bản đồ cao độ số 1/10.000 và 1/2.000 các tỉnh thuộc hạ lưu sông SG-ĐN do Bộ Tài nguyên và Môi trường đo đạc năm hoàn thành năm 2012 (Hình 2-9).
- Quy mô các công trình thủy lợi, giao thông, xây dựng và cơ sở hạ tầng được cập nhật đến năm 2018.

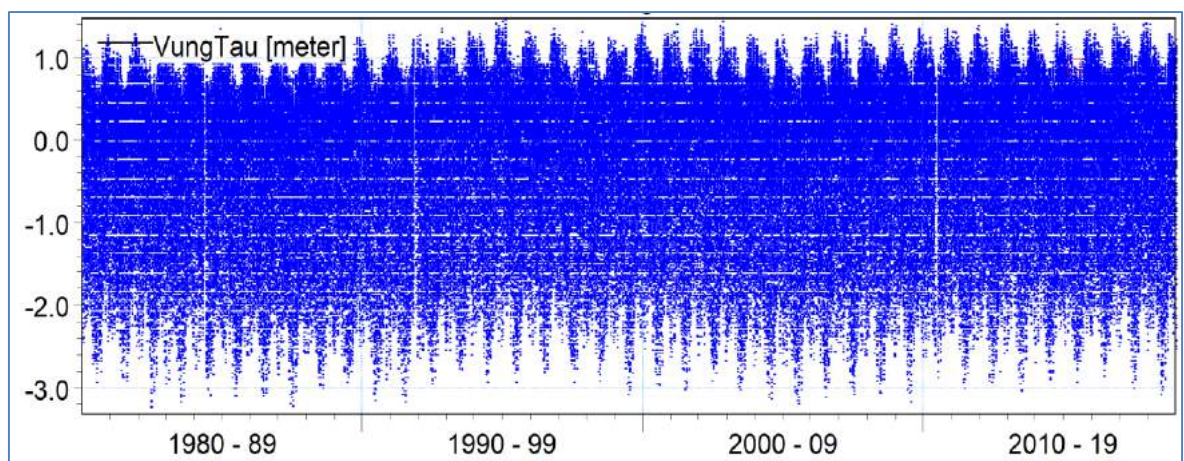
### **2.2.2. Tài liệu khí tượng thủy văn**

Các tài liệu này phục vụ việc phân tích đánh giá sự gia tăng mực nước trong sông theo số liệu lịch sử, làm biên đầu vào cho mô hình thủy lực và là số liệu cho việc hiệu chỉnh, kiểm định mô hình. Các số liệu bao gồm:

- Tài liệu khí tượng các trạm Biên Hòa, Cần Đăng, Dầu Tiếng, Đồng Phú, Gò Dầu, Lộc Ninh, Long Thành, Mộc Hóa, Phước Hòa, Phước Long, Tà Lài, Tân An, Tân Sơn Nhất, Tây Ninh, Trị An, Vũng Tàu nguồn từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ từ năm 1980 đến 2018.
- Tài liệu thủy văn các trạm Vũng Tàu, Biên Hòa, Phú An, Nhà Bè, Thủ Dầu Một, Bến Lức, Tân An nguồn từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ từ năm 1980 đến 2018 (Hình 2-10).
- Tài liệu đo đạc thủy văn các trạm đo tăng cường do Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam thực hiện (Hình 2-11).

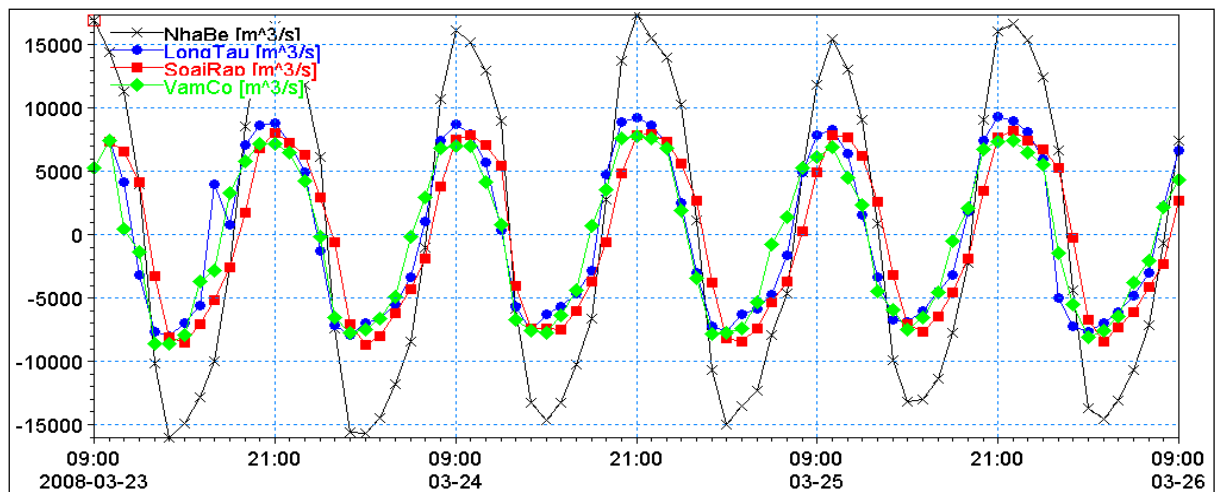


Hình 2-9: Bản đồ cao độ số tỷ lệ 1/10.000 vùng hạ lưu SG-ĐN



Hình 2-10: Mức nước thực đo tại Vũng Tàu từ năm 1980 đến năm 2018

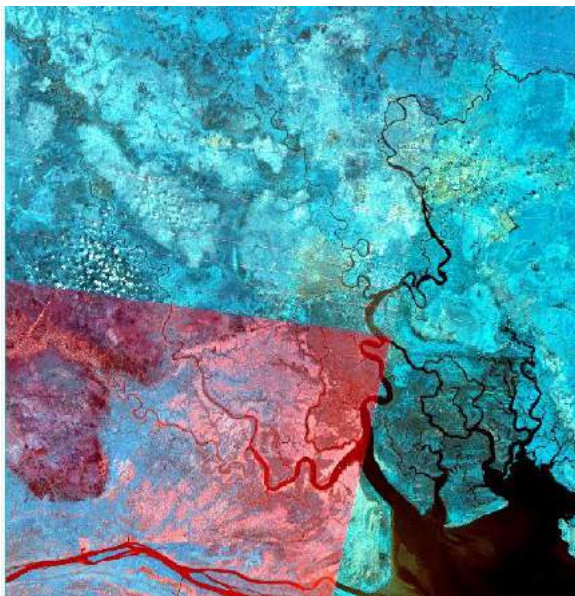




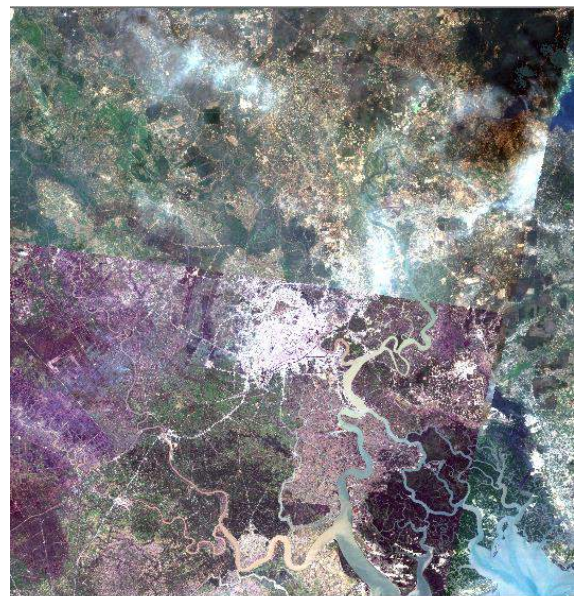
Hình 2-11: Lưu lượng thực đo tại một số trạm đo tăng cường năm 2008

### 2.2.3. Tài liệu sử dụng đất

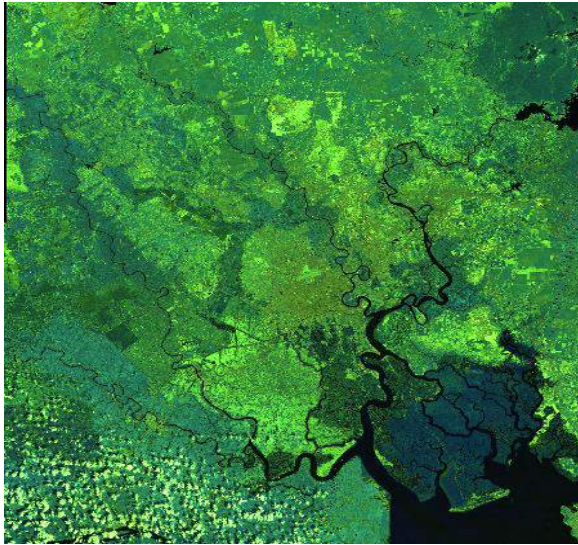
Các tài liệu để phân tích đánh giá sự thay đổi về cơ cấu sử dụng đất trong vùng nghiên cứu bao gồm: Diễn biến sử dụng đất tại các tỉnh Đồng Nai, Bình Dương, TPHCM, Bà Rịa-Vũng Tàu và Long An trong vùng nghiên cứu các năm: Năm 2000, năm 2010 và năm 2015 vào thời kỳ mực nước trong khu vực gia tăng đột biến.



Ảnh vệ tinh năm 1980



Ảnh vệ tinh năm 2000



Ảnh vệ tinh năm 2010



Ảnh vệ tinh năm 2015

*Hình 2-12: Minh họa ảnh vệ tinh qua các năm*

#### **2.2.4. Tài liệu ảnh viễn thám**

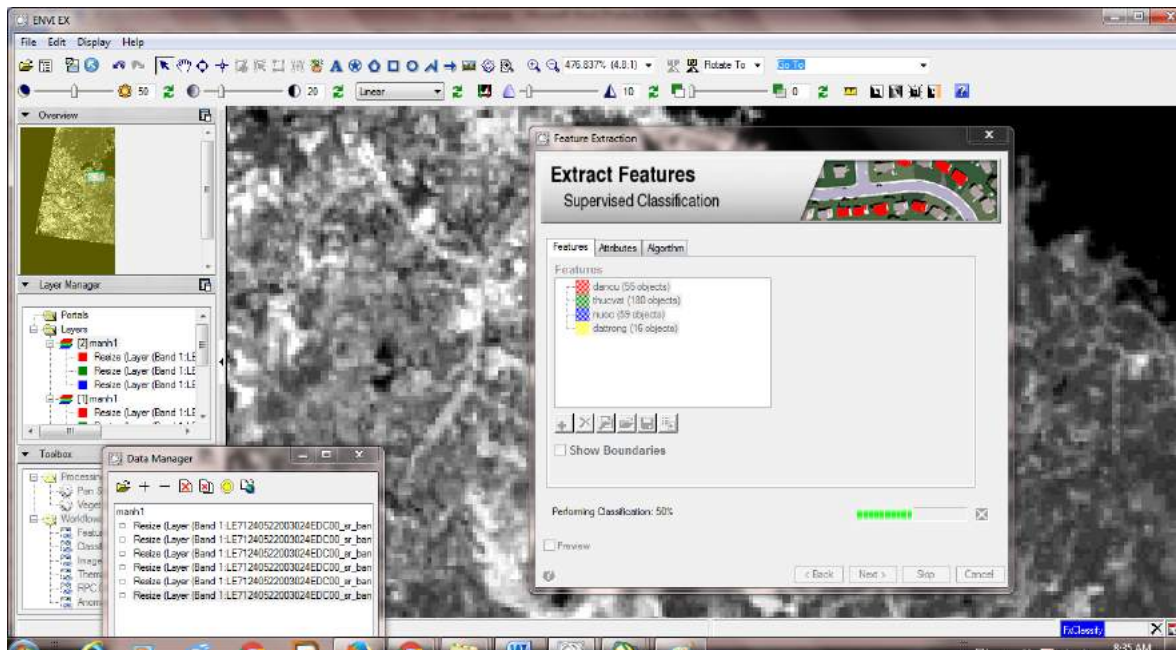
Các tài liệu phục vụ việc phân tích đánh giá sự thay đổi về cơ cấu sử dụng đất trong vùng nghiên cứu bao gồm: Ảnh vệ tinh được thu thập gồm các loại Landsat 1-2, Landsat 4- 5, Landsat 7, Landsat 8 với độ phân giải 30 m [53]. Các ảnh trên được thu thập trong các năm 1980, 1990, 2000, 2010 và năm 2015 (Hình 2-12).

### **2.3. CÔNG CỤ SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU**

#### **2.3.1. Công cụ trong phân tích về cơ cấu sử dụng đất**

Đối với thay đổi cơ cấu sử dụng đất, ngoài việc thu thập các số liệu thuộc vùng nghiên cứu, luận án sử dụng các ảnh vệ tinh để phân tích sự thay đổi sử dụng đất theo các năm (năm 1980, 1990, 2000, 2010 và 2015) nhằm phân tích về thay đổi cơ cấu sử dụng đất theo thời gian. Trong việc phân tích ảnh vệ tinh, sử dụng phần mềm ENVI (Hình 2-13) để xử lý ảnh và tính toán. Các ảnh Landsat được chuyển đổi phản xạ, hiệu chỉnh khí quyển và hiệu chỉnh hình học. Sau đó tiến hành phân loại lớp phủ mặt đất trên ảnh bằng thuật toán phân loại có kiểm định khoảng cách tối thiểu. Dựa trên đặc trưng phản xạ phổ của các loại đối tượng nghiên cứu này đã phân thành 5 loại đất: đất dân cư - xây dựng, đất nông nghiệp, đất mặt nước, đất rừng và đất chưa sử dụng. Xác định các loại hình sử dụng đất cần phân chia, sau đó chọn các vùng mẫu trên ảnh tương ứng để so sánh với bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2015.





*Hình 2-13: Phần mềm phân tích ảnh vệ tinh*

### **2.3.2. Công cụ trong mô phỏng bãi triều**

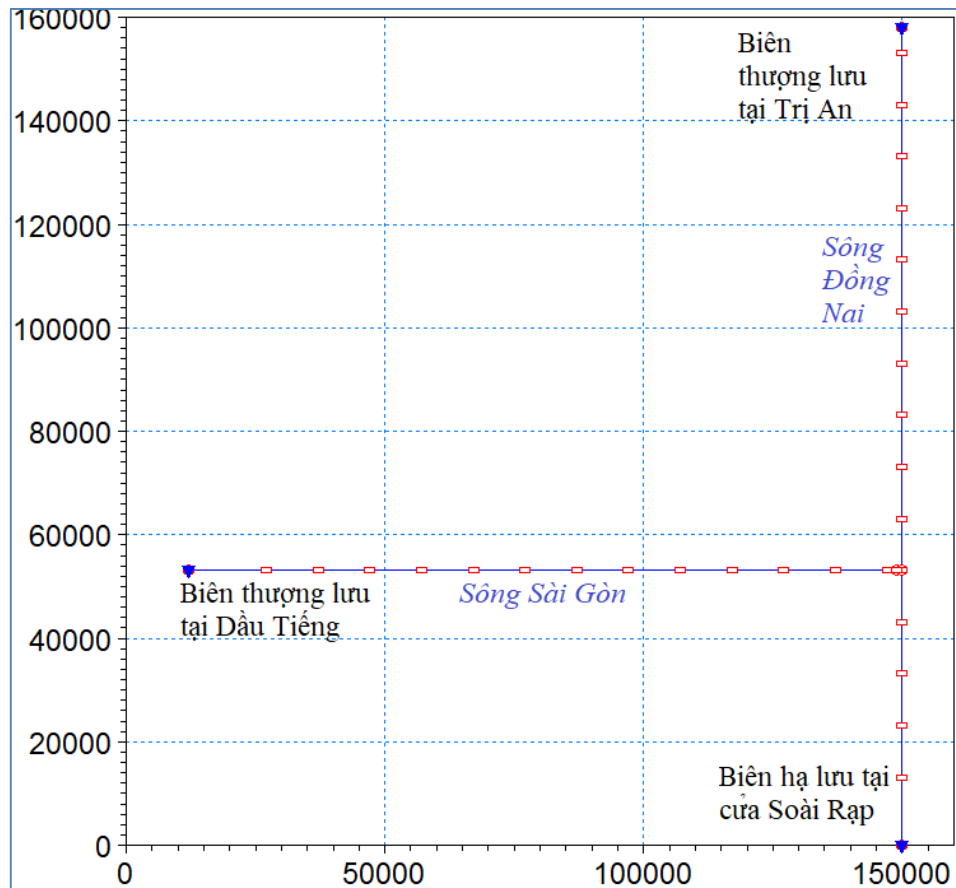
Để diễn tả mối tương quan giữa bãi triều với mực nước và lưu lượng, luận án sử dụng mô hình toán thủy lực. Mô hình MIKE được áp dụng trong nghiên cứu bao gồm: (i) Mô hình thủy lực thử nghiệm cho mạng sông đơn giản và (ii) Mô hình thủy lực cho toàn bộ vùng hạ lưu sông SG-ĐN [54], với các đặc điểm cụ thể:

- Mô hình thủy lực thử nghiệm: Sử dụng phần mềm thủy lực MIKE 11 để mô phỏng.
- Mô hình thủy lực vùng hạ lưu sông SG-ĐN: Đối với mô hình thủy lực cho vùng hạ lưu sông SG-ĐN sử dụng các phần mềm sau:
  - Phần mềm thủy văn NAM: Mô hình tính toán mưa – dòng chảy;
  - Phần mềm thủy lực MIKE 11: Mô hình thủy lực 1 chiều để diễn tả dòng chảy trong sông;
  - Phần mềm thủy lực MIKE 21: Mô hình thủy lực 2 chiều để diễn tả dòng chảy tràn bãi (các bãi triều).
  - Phần mềm MIKE FLOOD: Là mô đun kết nối giữa mô hình 1 chiều và mô hình 2 chiều.

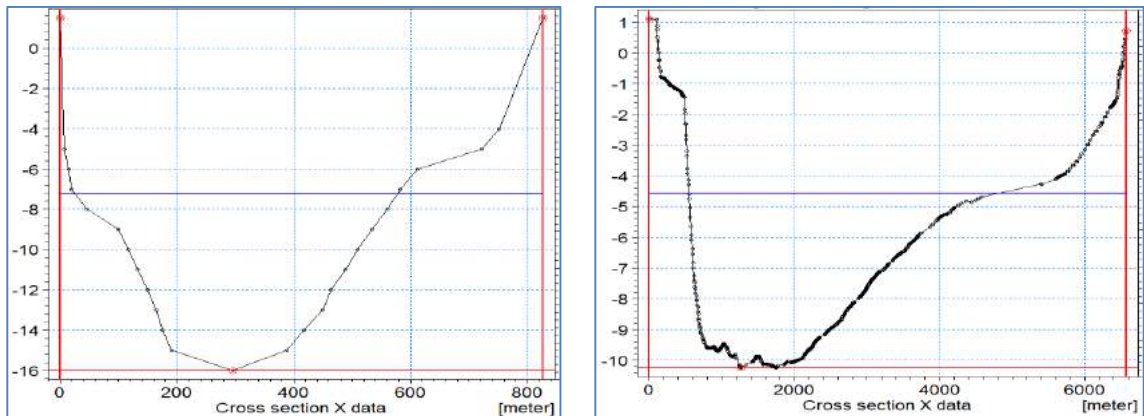
Chi tiết các phần mềm được trình bày trong phụ lục 2. Dưới đây sẽ trình bày chi tiết hai loại mô hình vừa đề cập.

### 2.3.3. Xây dựng mô hình thủy lực thử nghiệm

Để làm rõ cho việc tác động của các bãi ngập triều đến mực nước và lưu lượng trên sông, mô hình thủy lực thử nghiệm được đưa ra mô phỏng. Mô hình thủy lực thử nghiệm bao gồm 2 đoạn sông với mặt cắt sông được mô tả giống với 2 sông Sài Gòn (chiều dài sông 143.000 m) và Đồng Nai (chiều dài sông 158.100 m) (Hình 2-14). Các mặt cắt sông được lấy từ mặt cắt thực đo của sông Sài Gòn và sông Đồng Nai (Hình 2-15). Các trường hợp tính toán về tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trên sông dựa vào việc thay đổi kích thước và vị trí bãi triều. Tất cả các số liệu đầu vào khác (biên lưu lượng và mực nước...), các thông số trong mô hình trong tất cả các trường hợp tính toán không thay đổi khi tính toán mô phỏng.



Hình 2-14: Mô hình thử nghiệm được xây dựng trong luận án



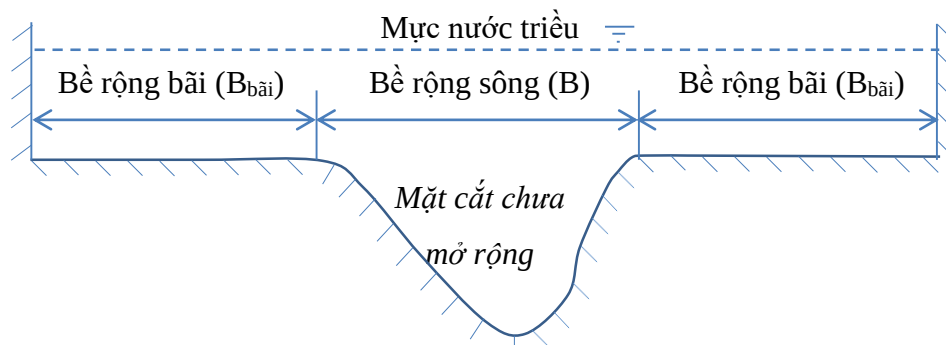
Mặt cắt tại cửa sông Sài Gòn

Mặt cắt tại cửa sông Đồng Nai

*Hình 2-15: Mặt cắt thực đo tại cửa sông Sài Gòn và Đồng Nai*

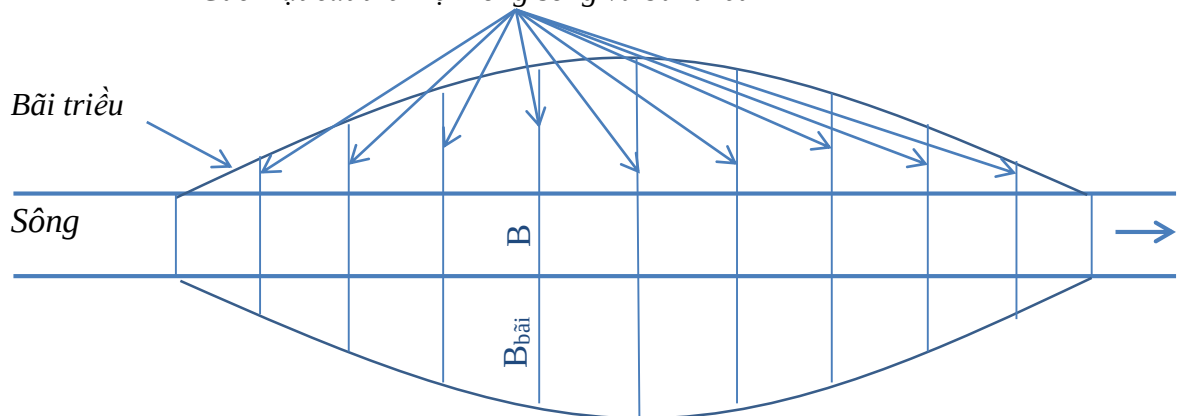
Các dạng bãi triều sử dụng trong mô hình thủy lực thử nghiệm dựa vào việc phân loại bãi triều đã trình bày trong mục (1.2.4). Cụ thể được trình bày dưới đây:

- Đối với bãi triều ven sông: Sử dụng việc mở rộng mặt cắt để tính toán trong các trường hợp tính toán (Hình 2-16, Hình 2-17).



*Hình 2-16: Mặt cắt mở rộng tại các đoạn sông trong mô hình thử nghiệm*

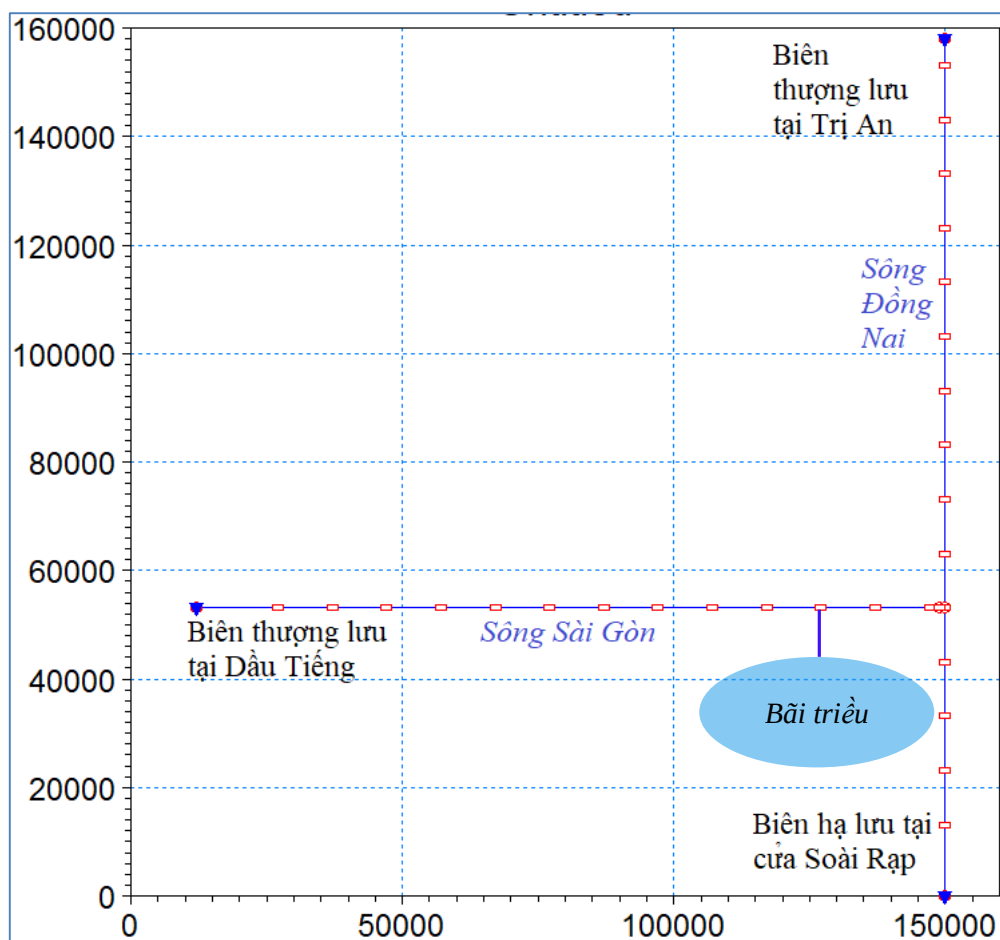
Các mặt cắt thể hiện lòng sông và bãi triều



*Hình 2-17: Mặt cắt mở rộng tại 1 đoạn sông tại Phú An trong mô hình thử nghiệm*

- Đối với bãi triều biệt lập: Sử dụng kênh với chiều dài ngắn (100 m, để không làm sai khác quy mô bãi triều trong tính toán). Tại cuối mặt cắt kênh gắn quy mô bãi triều đúng với quy mô xét trong các trường hợp tính (Hình 2-18). Quan hệ cao độ và diện tích bãi triều được tính toán từ bản đồ cao độ số tại các bãi triều (Hình 2-23). Cách thiết lập bãi triều biệt lập có thể xác định rõ lưu lượng từ sông chảy vào bãi triều qua các trường hợp tính.

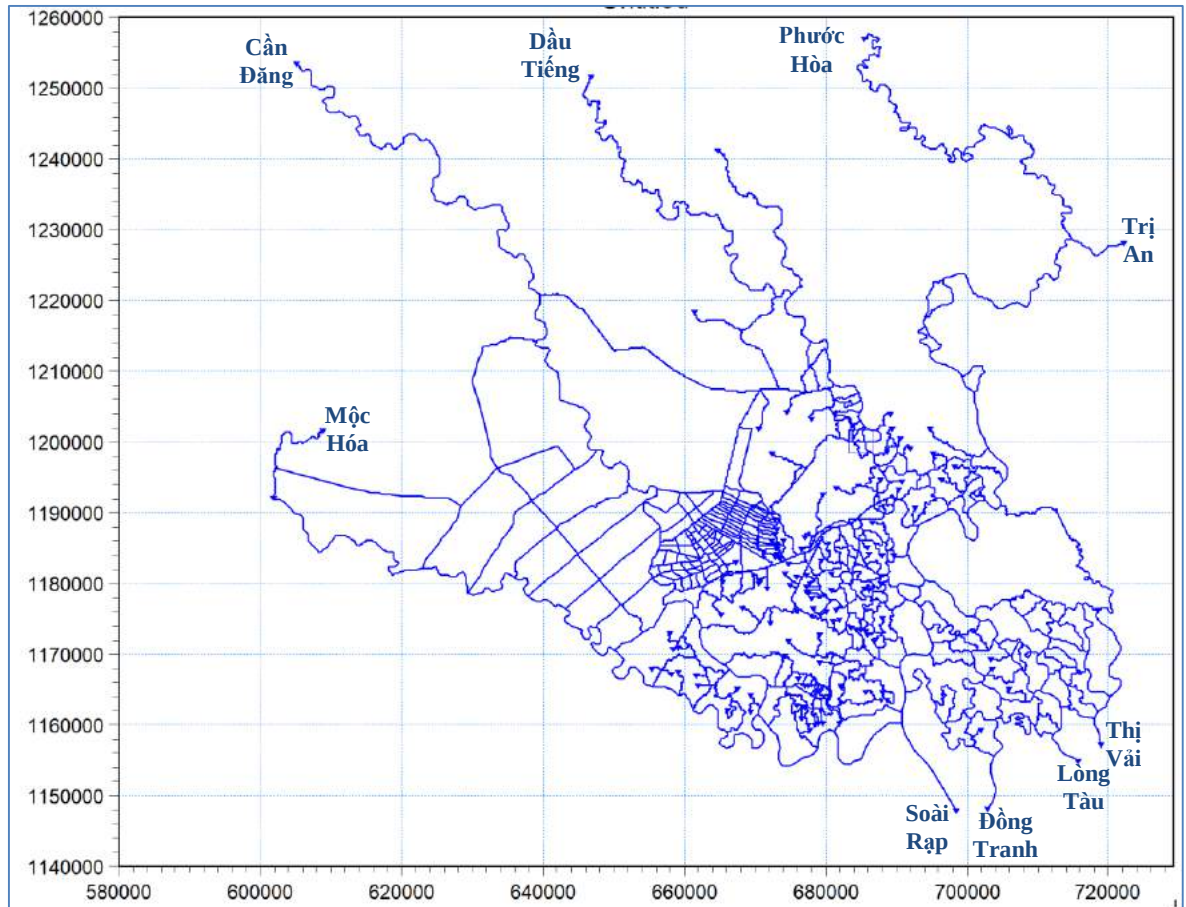
Hai dạng bãi triều trên cũng được tính toán và so sánh kết quả với vùng một diện tích bãi triều để đánh giá sự sai khác của dạng bãi triều kết nối với sông.



Hình 2-18: Bãi triều biệt lập tại một vị trí trong mô hình thử nghiệm

- #### 2.3.4. Xây dựng mô hình thủy lực cho hạ lưu sông SG-ĐN

này, sơ đồ tính được xây dựng cho cả khu vực hạ lưu. Phạm vi sơ đồ tính của mô hình 1 chiều (MIKE 11) từ phía sau hồ Dầu Tiếng trên sông Sài Gòn, sau hồ thủy điện Trị An trên sông Đồng Nai, trên sông Bé từ vị trí đập Phước Hòa, trên sông Vàm Cỏ Đông lấy từ sau trạm thủy văn Cần Đăng, trên sông Vàm Cỏ Tây tính từ Mộc Hóa ra tới biển Đông (Hình 2-20).



*Hình 2-20: Sơ đồ thủy lực một chiều khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN*

- Biên sơ đồ thủy lực: bao gồm 4 biên lưu lượng thượng lưu (Trị An, Dầu Tiếng, Phước Hòa và Cần Đăng); 1 biên mực nước tại Mộc Hóa trên sông Vàm Cỏ Tây; 4 biên mực nước tại các cửa ra biển, số liệu là mực nước triều trạm Vũng Tàu được hiệu chỉnh theo tương quan Vũng Tàu-Soài Rạp.

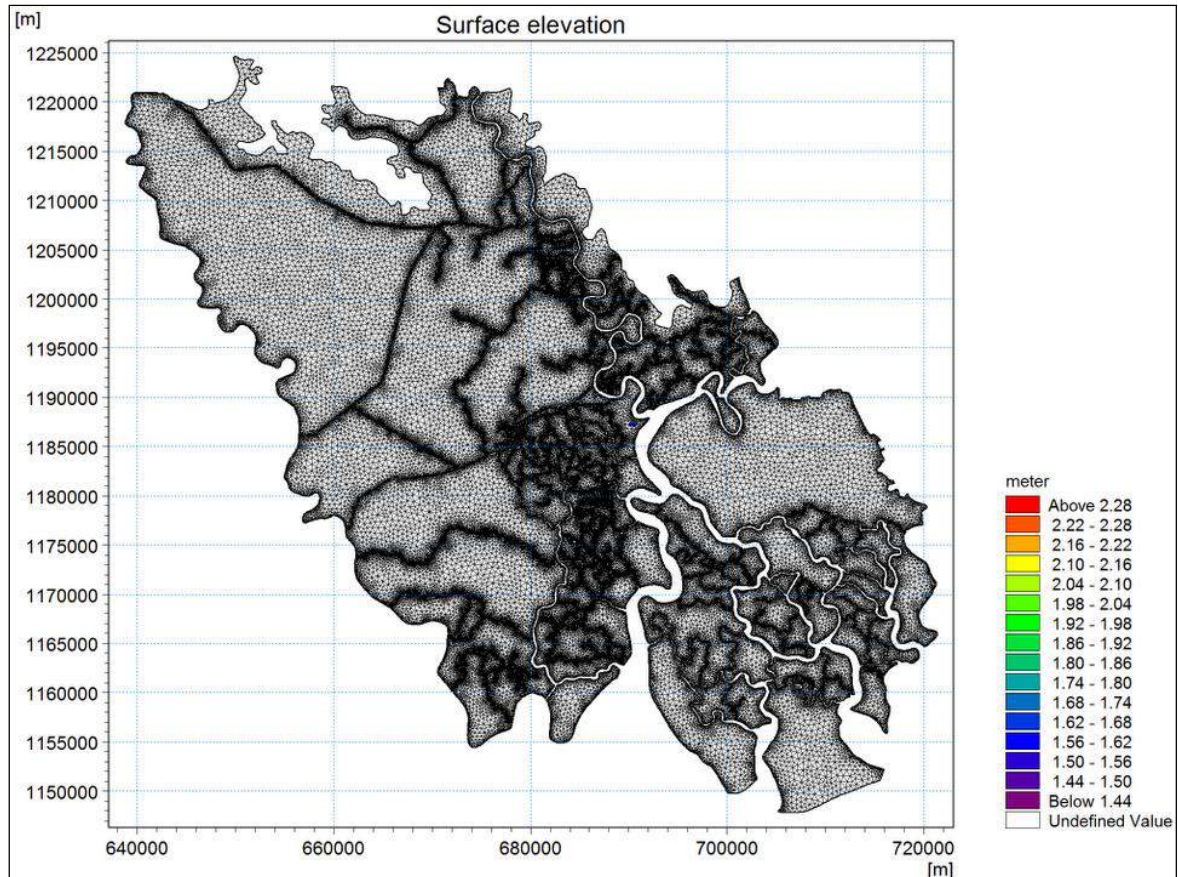
• **Mô hình thủy lực MIKE 21**

- Mô hình 2 chiều MIKE21 được thiết lập cho toàn bộ bãi triều và những khu vực có khả năng ngập trong những năm lũ lớn và triều cường. Sử dụng lưới phi cấu trúc cách chia lưới linh hoạt (lưới tam giác), diện tích ô lưới nhỏ nhất là 1.500 m<sup>2</sup>, diện



tích ô lưới lớn nhất là 54.000 m<sup>2</sup>, toàn bộ vùng nghiên cứu được chia thành 159.345 ô lưới (Hình 2-21), các cao độ địa hình được tính toán trên lưới.

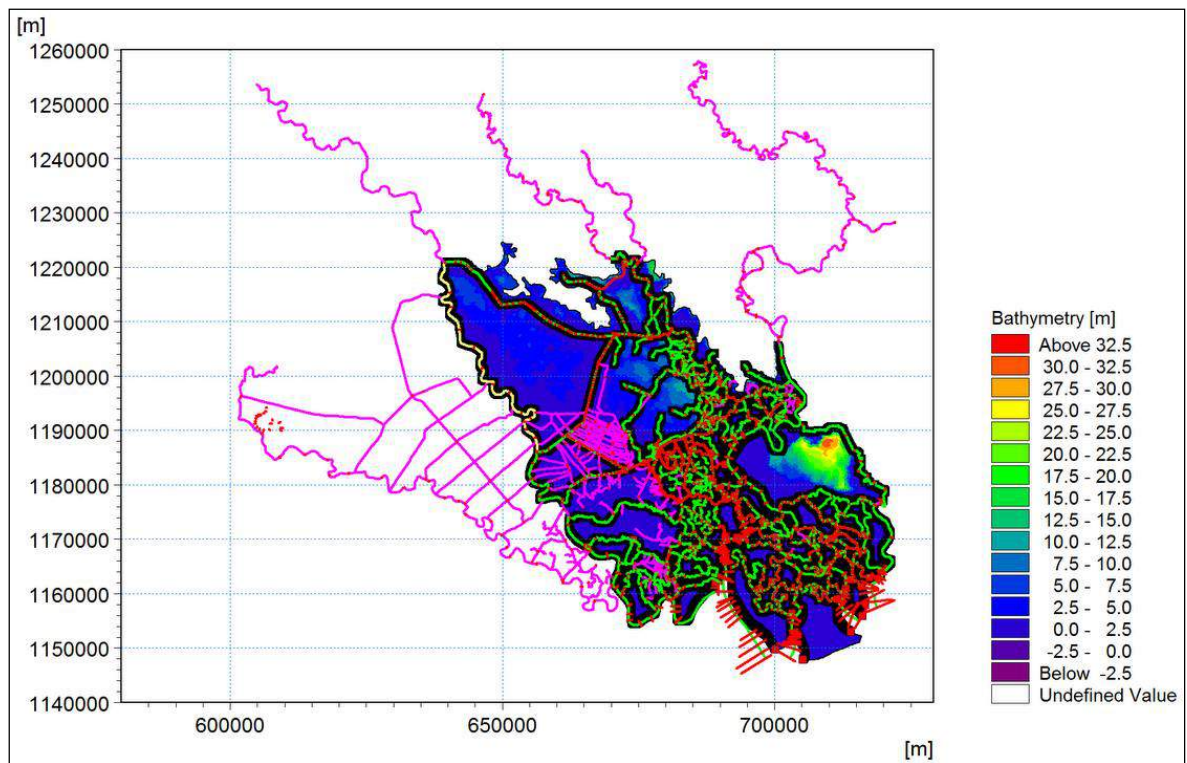
- Mô hình sử dụng các dạng địa hình bãi triều khác nhau trong những năm khác nhau để mô phỏng tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trên sông.



*Hình 2-21: Sơ đồ thủy lực 2 chiều (MIKE 21) hạ lưu SG-ĐN*

- **Mô hình MIKE FLOOD**

Mô hình này được tích hợp giữa 2 mô hình (1 chiều và 2 chiều) đã trình bày ở trên. Các kết nối được thiết lập tùy thuộc và điều kiện cụ thể của địa hình, các đê, đường giao thông, các công trình công trên đê. Những khu vực có bãi triều, kết nối giữa kênh (mô hình 1 chiều) và bãi triều (mô hình 2 chiều) là kết nối bên, khi triều lên nước theo các kênh và tùy thuộc vào điều kiện cụ thể của cao trình khu vực, dòng chảy có thể xâm nhập vào trong các bãi triều (Hình 2-22).



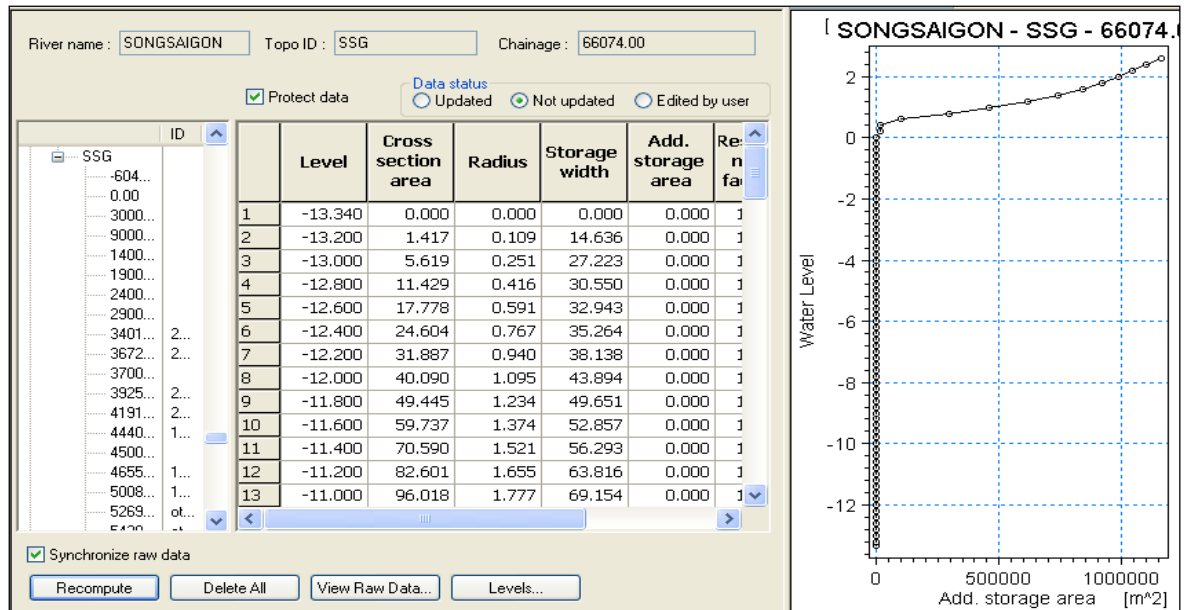
Hình 2-22: Sơ đồ thủy lực kết nối 1 và 2 chiều (MIKE FLOOD) vùng nghiên cứu

• **Các kết nối giữa sông và bãi triều trong mô hình**

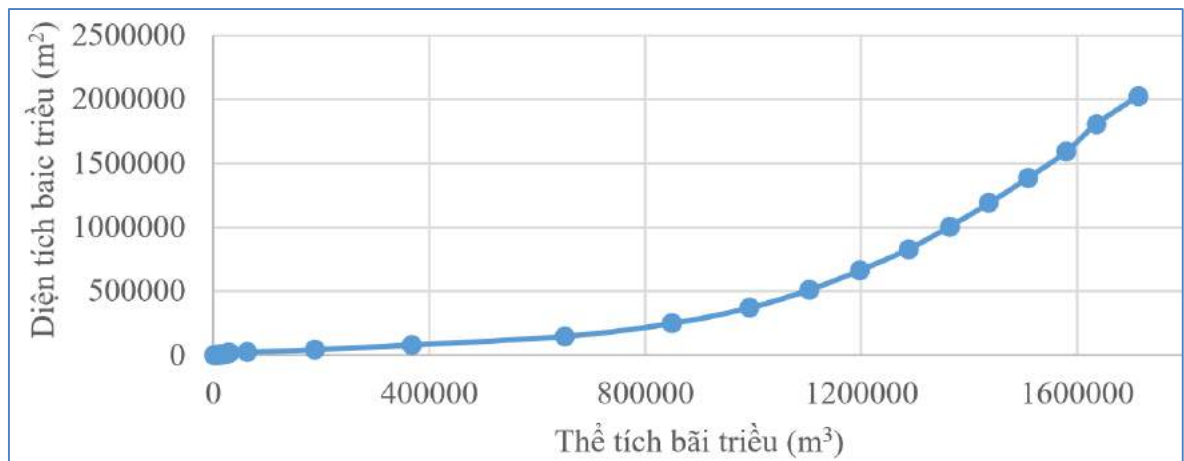
○ Kết nối giữa sông và bãi triều sử dụng trong mô hình MIKE 11 được sử dụng dưới đây:

- Kết nối qua công trình thủy lợi: Kết nối này nhằm phân tách các khu vực được bảo vệ với các sông bên ngoài. Những khu vực được bảo vệ là những khu vực sản xuất nông nghiệp, dân cư như các công tại huyện Hóc Môn, Bình Chánh, khu vực sản xuất dọc sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây, khu vực An Sơn-Lái Thiêu, khu vực bờ Hữu ven sông Sài Gòn thuộc quận 12, các công kiểm soát triều như cống Nhiêu Lộc- Thị Nghè, cống Rạch Lăng, Bình Triệu. Tại đây, bố trí các công trình trong sơ đồ thủy lực 1 chiều.
- Kết nối bằng ô trữ trong mặt cắt: Các kết nối này được sử dụng trong trường hợp bãi triều nằm cạnh sông và triều có thể vào ra khi mực nước sông thay đổi. Các mặt cắt sông được gán ô chứa bằng đường quan hệ (diện tích - cao độ) để khi tính toán lượng nước có thể vào ra các bãi triều (Hình 2-23). Các khu vực áp dụng kết nối này trong những nghiên cứu trước đây thường được sử dụng để

áp dụng cho tất cả các khu vực trũng thấp. Trong nghiên cứu này, do sử dụng cả mô hình 1 chiều và 2 chiều nên chỉ áp dụng kết nối bằng ô trữ trong mặt cắt cho khu vực ven sông Sài Gòn từ Thị Tính lên đến chân đập Dầu Tiếng và khu vực từ Thành Phố Biên Hòa đến chân đập Trị An và khu vực sản xuất nông nghiệp ven sông Vàm Cỏ nơi không thiết lập mô hình 2 chiều.



Hình 2-23: Quan hệ về cao độ và diện tích trong mô hình thể hiện cho bãi triều



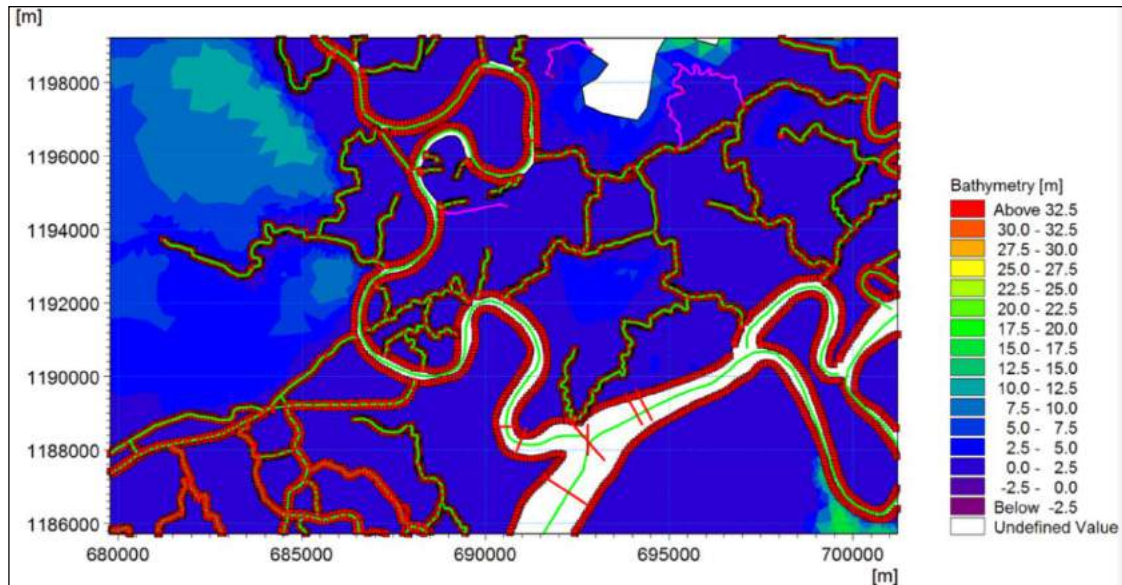
Hình 2-24: Quan hệ giữa thể tích và diện tích của bãi triều

○ Kết nối giữa sông và bãi triều sử dụng trong mô hình MIKE FLOOD được sử dụng dưới đây:

- Kết nối bên: kết nối này được áp dụng trong mô hình. Kết nối này là liên kết giữa các điểm tính trong mô hình 1 chiều và các ô lưới trong mô hình 2 chiều

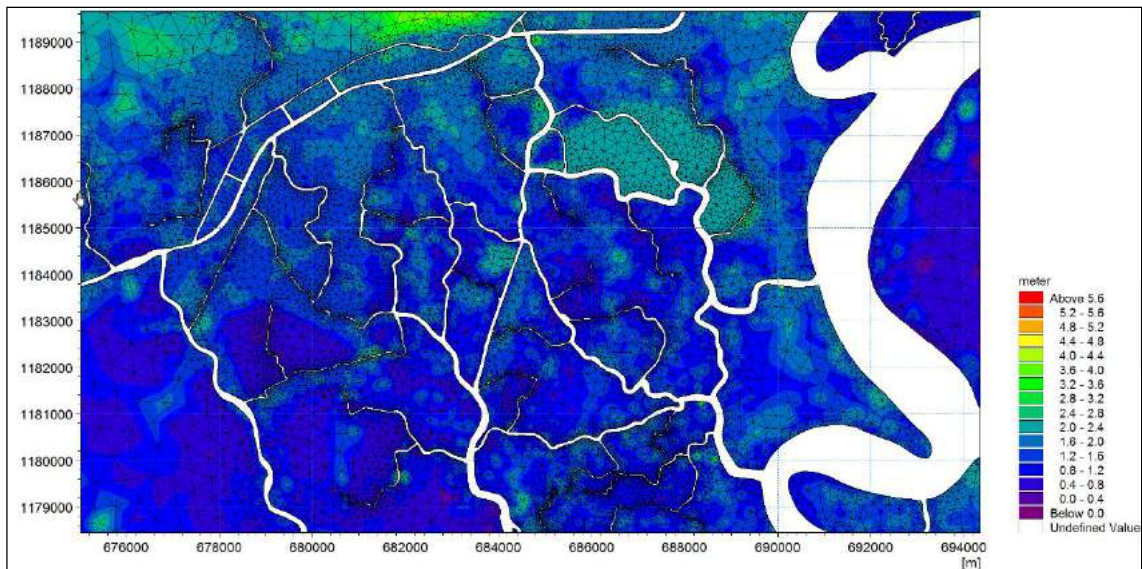


và là kết nối giữa sông và hai bên bờ (Hình 2-25). Tổng số các kết nối khoảng 40.800 điểm.

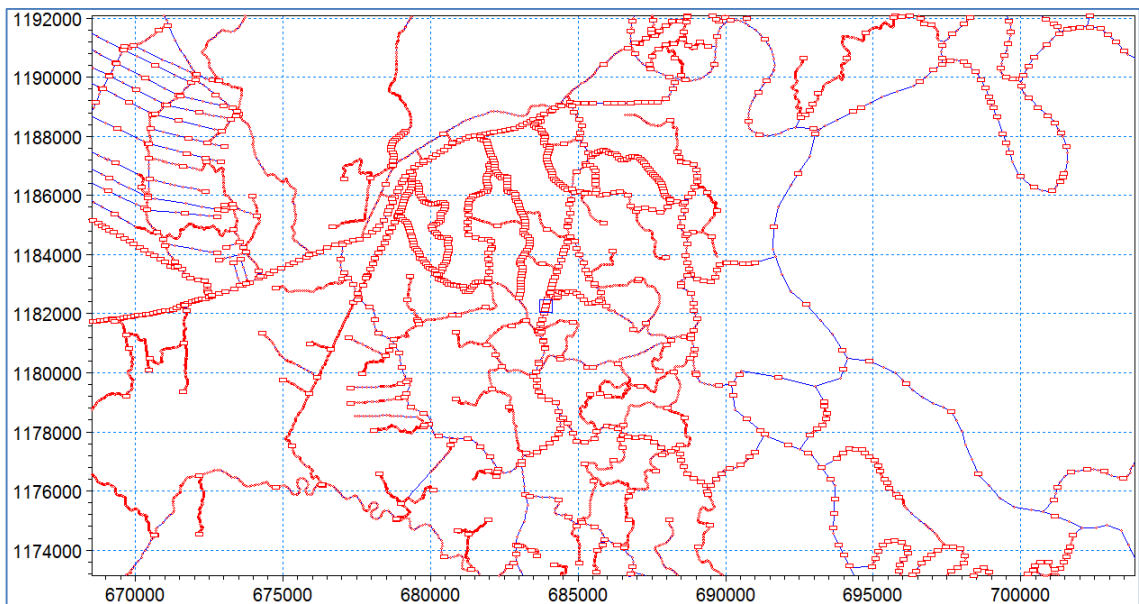


*Hình 2-25: Thiết lập các kết nối bên khu vực ngã ba sông SG-ĐN*

- Đối với lòng sông, mô hình một chiều đã được thiết lập để thể hiện phần dòng chảy trên sông (Hình 2-27) nên toàn bộ phần mô phỏng sông trong mô hình 2 chiều đã được cắt đi (Hình 2-26).



*Hình 2-26: Minh họa phần sông khu Nam Sài Gòn đã được cắt đi trong MIKE 21*



*Hình 2-27: Minh họa phân sông khu Nam Sài Gòn trong MIKE 11*

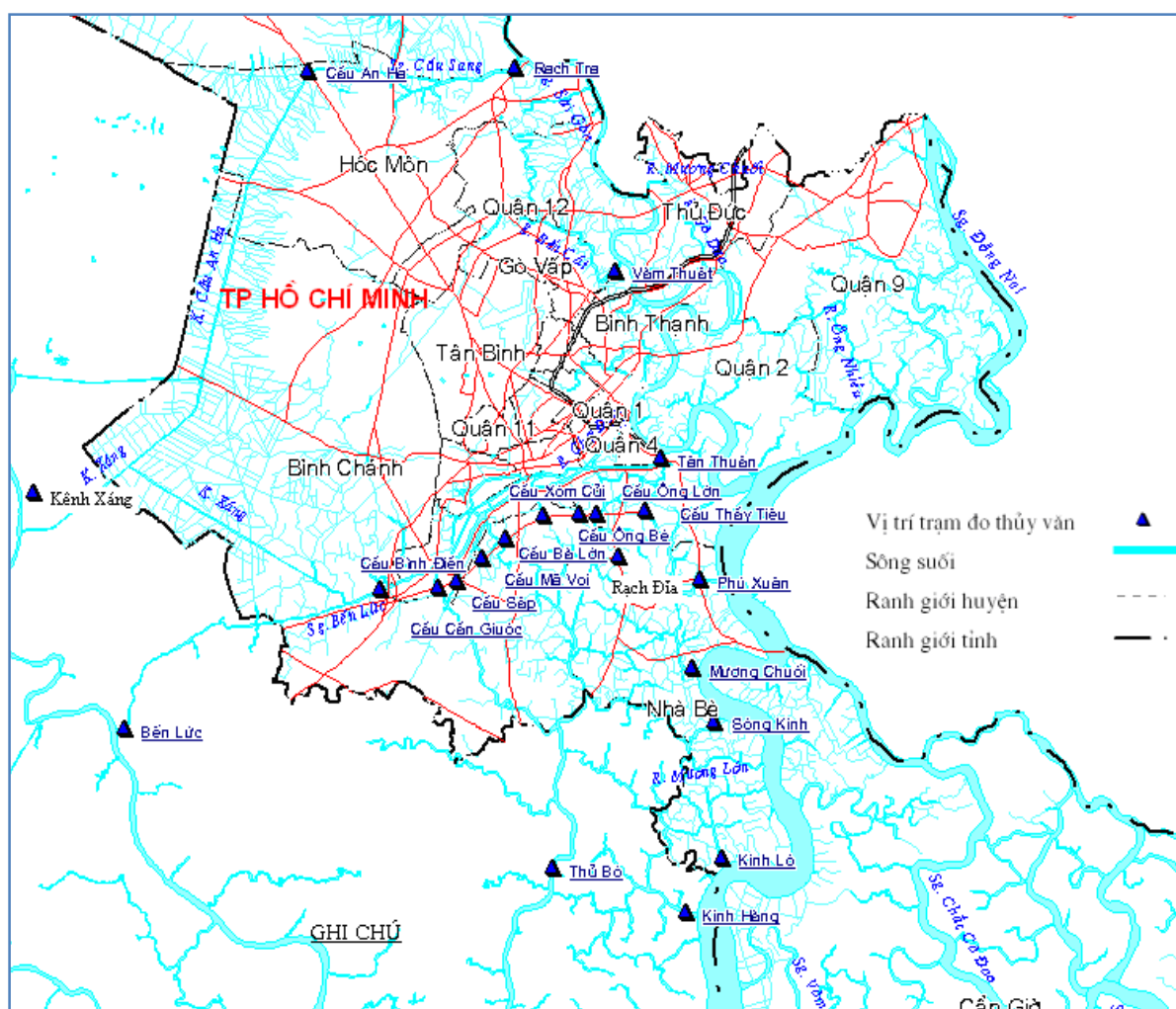
Thời gian mô phỏng bao gồm cả thời kỳ triều cường, triều kém (30 ngày). Điều kiện ban đầu với mực nước trên sông và trong bãi triều theo mực nước trung bình với cao trình +0,00 m. Sử dụng bước thời gian mô phỏng 60 phút, kết quả phân tích dựa trên 1 chu kỳ triều (15 ngày), 15 ngày đầu được loại bỏ để tránh sai số do thời gian đầu mô hình chưa được ổn định.

Chi tiết xây dựng mô hình thủy lực cho hạ lưu sông SG-ĐN được trình bày phụ lục

3. Dưới đây sẽ trình bày kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

○ *Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình*

- Hiệu chỉnh mô hình thủy lực: Hiệu chỉnh mô hình tại các trạm thủy văn Quốc Gia (Nhà Bè, Phú An, Biên Hòa, Thủ Dầu Một, Bến Lức) (Hình 0-1) với điều kiện khí tượng, thủy văn tháng 12 năm 2017, thời kỳ xảy ra mực nước cao tại Phú An với cao trình +1,71m. Do khu vực hạ lưu sông SG-ĐN không có trạm đo lưu lượng nên mô hình cũng được hiệu chỉnh với 22 trạm đo (lưu lượng và mực nước) trong dự án “*Tư vấn khảo sát, tính toán thủy văn, thủy lực dự án thủy lợi chống ngập úng khu vực TPHCM*”[55].



*Hình 2-28: Minh họa vị trí các điểm hiệu chỉnh mô hình*

- Kiểm định mô hình thủy lực: Mô hình được kiểm định với các vị trí trạm thủy văn Quốc Gia (Nhà Bè, Phú An, Biên Hòa, Thủ Dầu Một, Bền Lức) với điều kiện khí tượng, thủy văn tháng 10 năm 2013 cũng vào thời kỳ mực nước đỉnh triều tại Phú An đạt +1,68m.

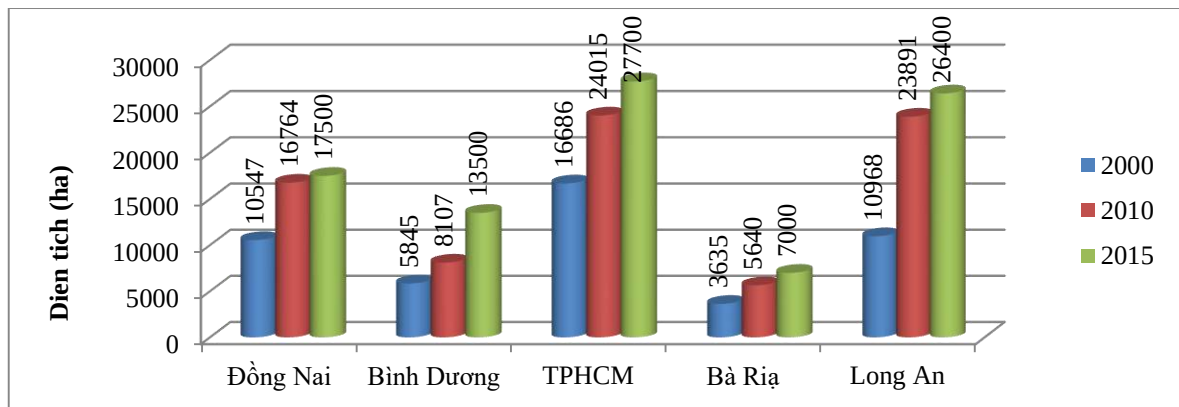
Chi tiết hiệu chỉnh và kiểm định mô hình được trình bày phụ lục 4. Kết quả hiệu chỉnh mực nước và lưu lượng tương đối tốt cho các trạm đo trong vùng nghiên cứu. Sự lệch pha cũng như chênh lệch giữa chân triều và đỉnh triều là rất ít. Kết quả mô phỏng hiệu chỉnh và kiểm định mô hình và bộ thông số của mô hình như trên là phù hợp và có thể sử dụng để tính toán nghiên cứu trong luận án.



## 2.4. DIỄN BIẾN SỬ DỤNG ĐẤT KHU VỰC HẠ LƯU SÔNG SG-ĐN

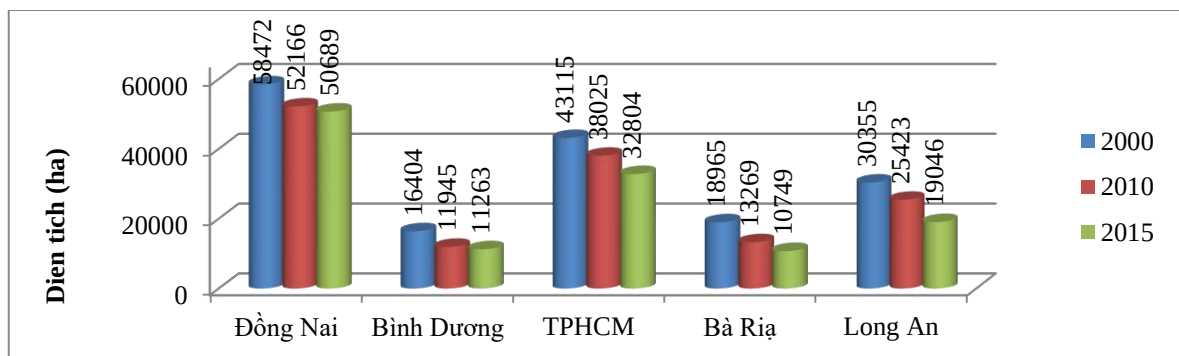
### 2.4.1. Diễn biến sử dụng đất dựa trên tài liệu thu thập của các tỉnh

Theo kết quả nghiên cứu của luận án dựa trên số liệu sử dụng đất thu thập tại các tỉnh Đồng Nai [56], Bình Dương [57], TPHCM [58], Bà Rịa-Vũng Tàu [59] và Long An [60] trong vùng nghiên cứu từ năm 2000 đến năm 2015 (thời kỳ mực nước trong khu vực gia tăng đột biến), cơ cấu sử dụng đất cho các ngành đã thay đổi khá nhiều. Tổng diện tích đất ở trong các tỉnh khoảng 47.680 ha vào năm 2000, tăng lên khoảng 78.420 ha vào năm 2010 (tăng 64,5% so với năm 2000) và tăng lên 92.100 ha vào năm 2015 (tăng 93,2% so với năm 2000). Số liệu này cho thấy qua 15 năm mà diện tích đất này đã tăng lên gần gấp đôi so với trước đây (Hình 2-29).



Hình 2-29: Thay đổi diện tích sử dụng đất ở tại các tỉnh

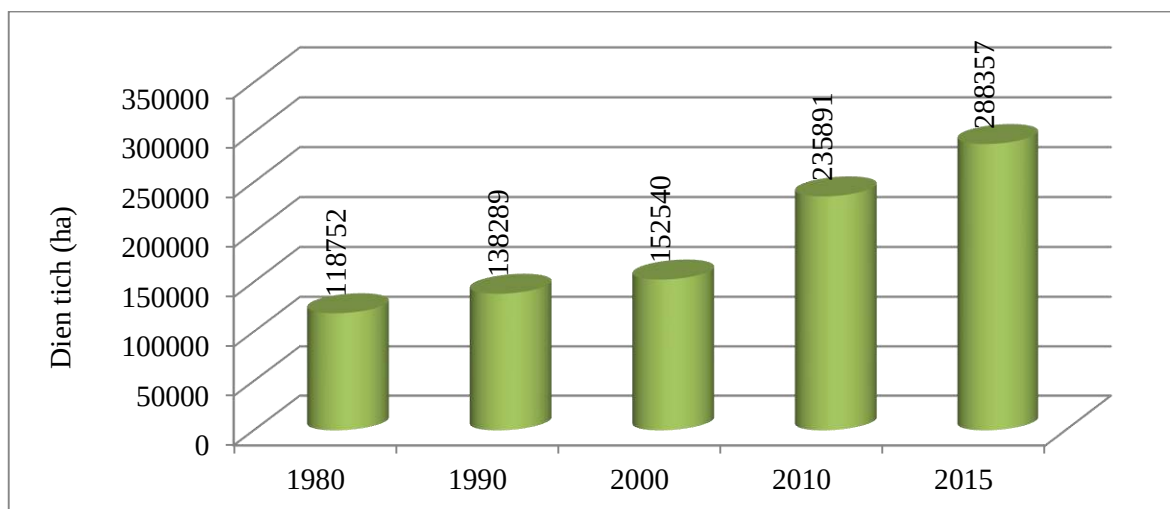
Diện tích mặt nước trong khu vực vào khoảng 167.310 ha vào năm 2000, đến năm 2010 giảm còn 140.830 ha (giảm 15,8% so với năm 2000) và giảm còn 126.550 ha vào năm 2015 (giảm 24,4% so với năm 2000). Như vậy, diện tích mặt nước cũng giảm đáng kể so với trước đây (Hình 2-30).



Hình 2-30: Thay đổi diện tích đất mặt nước tại các tỉnh

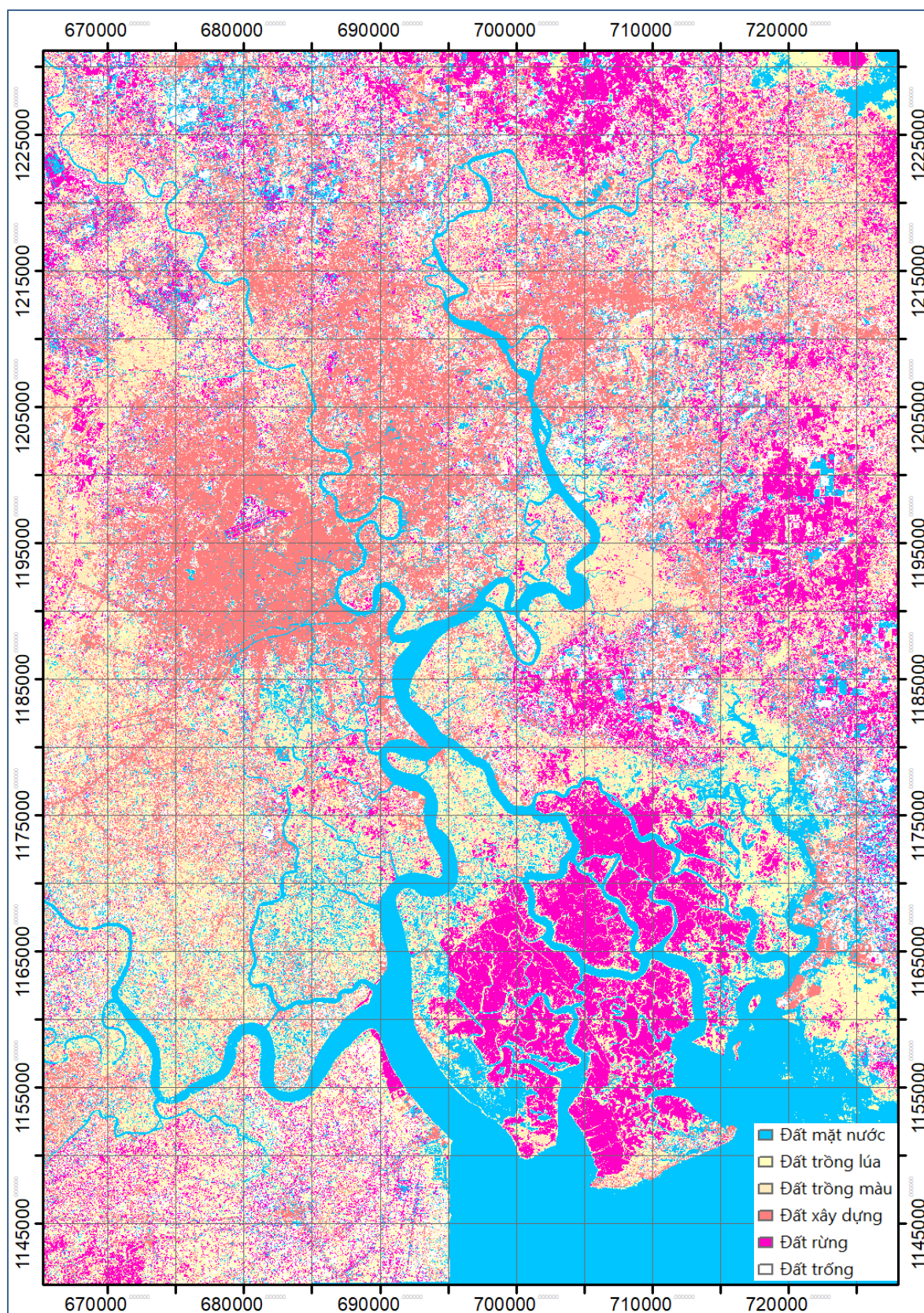
#### 2.4.2. Diễn biến sử dụng đất dựa trên tài liệu phân tích ảnh vệ tinh

Theo kết quả nghiên cứu phân tích ảnh vệ tinh của luận án trong các năm 1980, 1990, 2000, 2010 và 2015 (Hình 2-32) [61], diện tích đất xây dựng (bao gồm đất ở, đất giao thông, đất xây dựng, đất thủy lợi, đất cơ sở hạ tầng...) tăng lên khá lớn. Tổng diện tích đất xây dựng trong vùng hạ lưu sông SG-ĐN khoảng 118.750 ha vào năm 1980, tăng lên khoảng 138.290 ha vào năm 1990 (tăng 16,5% so với năm 1980) tăng lên 152.540 ha vào năm 2000 (tăng 28,5% so với năm 1980), tăng lên 235.891 ha vào năm 2010 (tăng 98,6% so với năm 1980) và tăng lên 288.357 ha vào năm 2015 (tăng 142,8% so với năm 1980). Như vậy, qua 35 năm, diện tích đất xây dựng đã tăng lên gần gấp ba lần so với trước đây. Nếu xét từ năm 2000 đến 2015, thời gian có tốc độ xây dựng cơ sở hạ tầng tăng nhanh, diện tích đất xây dựng đã tăng gần gấp đôi so với năm 2000 (Hình 2-31).



Hình 2-31: Thay đổi diện tích sử dụng đất xây dựng từ năm 1980 - 2015

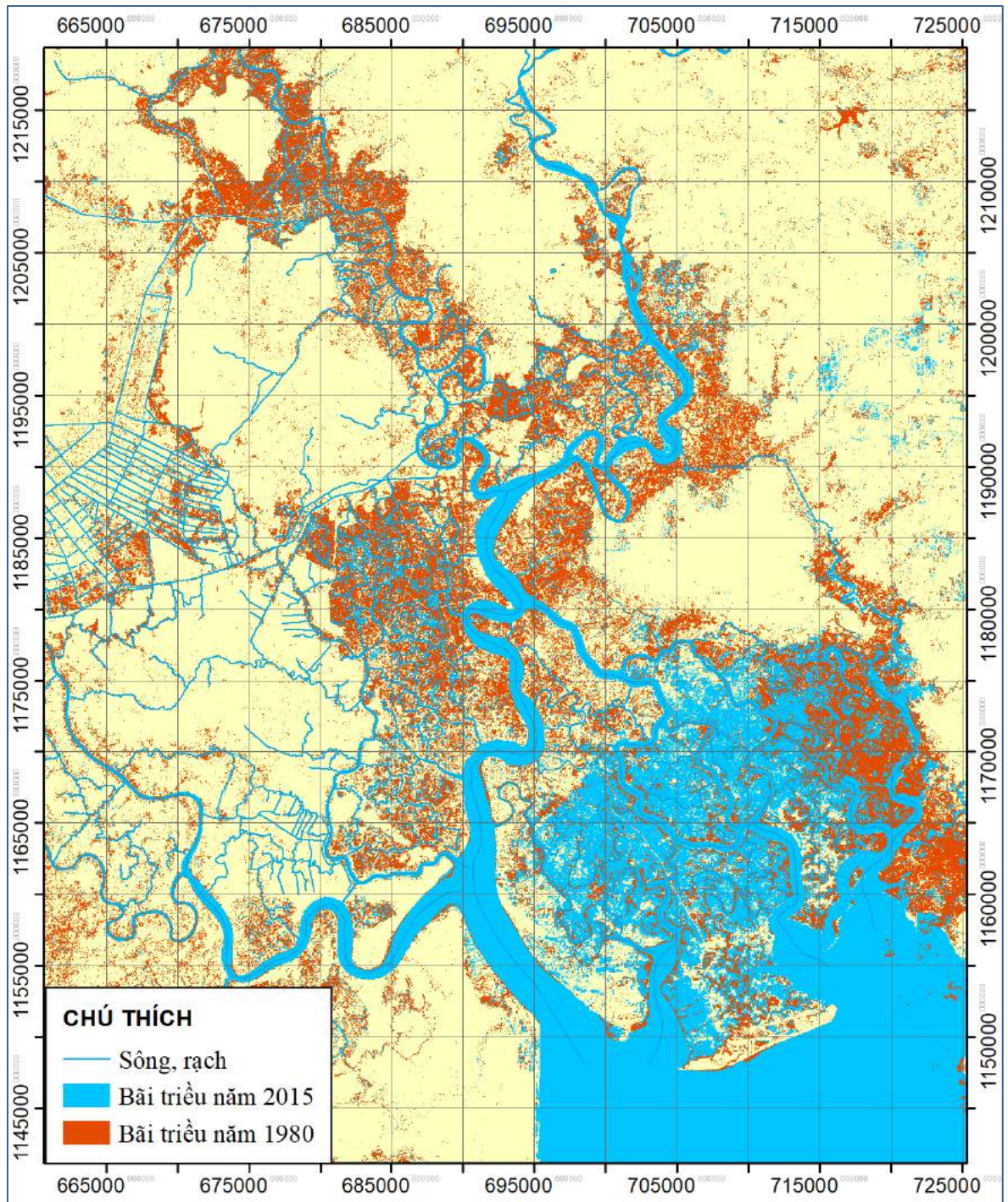




Hình 2-32: Bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2015 phân tích từ ảnh vệ tinh



Sự thay đổi về cơ cấu sử dụng đất khá lớn làm cho các bãi triều bị thu hẹp hoặc thậm chí không còn bãi triều tại một số khu vực (Hình 2-33). Những thay đổi này là một trong những nguyên nhân cần làm rõ để đánh giá tác động của chúng đến thay đổi mực nước và lưu lượng trên sông trong nghiên cứu của luận án.



Hình 2-33: Sự suy giảm bãi triều từ năm 1980 đến năm 2015

## 2.5. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

- Bằng việc phân tích các thông số của phương trình liên tục trong hệ phương trình thủy động lực, luận án đã phân chia bề rộng mặt cắt sông thành hai phần ( $B$  và  $B_{bãi}$ ), nghiên cứu đã lập luận, với bề rộng bãi triều càng lớn thì biên độ triều hẹp lại làm cho mực nước lớn nhất trên sông càng giảm, mực nước nhỏ nhất trên sông tăng lên.
- Nếu coi quá trình truyền triều vào cửa sông như một chuyển động sóng thì phương trình này được đơn giản hóa bằng hàm của sóng tuần hoàn. Qua việc phân tích của luận án, nếu coi mặt cắt lòng dẫn và mặt cắt bãi triều là hình chữ nhật, coi độ sâu trong bãi triều nhỏ, xét trong trường hợp sóng bị hấp thụ bởi các bãi triều thì biên độ sóng bị suy giảm (mực nước lớn nhất trên sông giảm, mực nước nhỏ nhất trên sông tăng) khi chiều rộng bãi triều tăng lên. Nghiên cứu đã đưa ra hệ số tỷ lệ giữa bề rộng sông và bề rộng sông tính cả bãi triều ( $0 < r_b \leq 1$ ). Hệ số này càng lớn thì biên độ triều càng tăng và lưu lượng ở thượng lưu bãi triều giảm đi.
- Khi xét đến việc mở rộng mặt cắt lòng dẫn, lưu lượng qua mặt cắt sẽ tăng lên và làm cho biên độ triều tăng lên và hệ quả là mực nước lớn nhất gia tăng, mực nước nhỏ nhất giảm đi so với khi chưa mở rộng mặt cắt.
- Để áp dụng mô hình thủy lực mô phỏng cho hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN, các tài liệu đã được thu thập. Số liệu thu thập chủ yếu bao gồm: (i) Tài liệu địa hình lòng sông, bản đồ cao độ số, các số liệu về các công trình giao thông, thủy lợi...; (ii) Tài liệu khí tượng thủy văn với liệt số liệu từ năm 1980 đến 2018; (iii) Tài liệu sử dụng đất các tỉnh thuộc khu vực hạ lưu sông SG-ĐN năm 2000, 2010 và 2015; (iv) Tài liệu ảnh viễn thám một số năm (1980, 1990, 2000, 2010 và 2015) để phân tích diễn biến sử dụng đất trong vùng nghiên cứu. Ngoài ra, luận án còn thu thập các tài liệu có liên quan khác để tham khảo thêm trong quá trình nghiên cứu.
- Các công cụ sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: (i) Phần mềm MIKE để tính toán và mô phỏng thủy lực lòng dẫn và bãi triều; (ii) Phần mềm ENVI để phân tích ảnh vệ tinh, phân tích cơ cấu sử dụng đất của vùng nghiên cứu. Phần mềm MIKE được áp dụng trong nghiên cứu bao gồm: (i) Mô hình thủy lực thử nghiệm cho mạng sông đơn giản và (ii) Mô hình thủy lực cho vùng hạ lưu sông SG-ĐN. Mô hình thủy lực cho

vùng hạ lưu sông SG-ĐN được thiết lập dựa trên mô hình 1 chiều, 2 chiều trong đó mô tả các kết nối giữa sông và bãi triều, các kết nối qua công trình. Mô hình cũng được hiệu chỉnh và kiểm định để sát với các điều kiện thực tế. Các số liệu đầu vào (biên lưu lượng và mực nước...), các thông số trong mô hình trong tất cả các trường hợp tính toán không thay đổi khi mô phỏng.

- Theo kết quả phân tích số liệu về sử dụng đất thu thập được địa phương từ năm 2000 đến năm 2015 dựa trên phân loại đất ở và đất mặt nước, diện tích đất ở có xu hướng tăng rất lớn (tăng 93,2% so với năm 2000). Diện tích đất mặt nước lại giảm đi đáng kể (giảm 24,4% so với năm 2000). Các kết quả về phân tích sử dụng đất theo phân tích ảnh vệ tinh (các năm 1980, 1990, 2000, 2010 và 2015) cũng có giá trị tương đồng với kết quả phân tích sử dụng đất thu thập được tại các tỉnh. Diện tích đất xây dựng vào năm 2015 tăng 142,8% so với năm 1980. Đây cũng là tài liệu xác định bãi triều của luận án khi xét tới biến động của chúng đến mực nước và lưu lượng trên sông.



### CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VỀ BIẾN ĐỘNG MỨC NƯỚC TRÊN SÔNG DỰA VÀO TÀI LIỆU THỰC ĐO

Kết quả phân tích về mực nước lớn nhất thực đo tại các trạm thủy văn trên khu vực hạ lưu sông SG-ĐN từ năm 1980 đến năm 2018 được trình bày như dưới đây:

##### 3.1.1. Biến động mực nước lớn nhất năm

Diễn biến mực nước lớn nhất năm gia tăng đáng kể trong những năm qua. Xét tương quan trong thời gian từ năm 1980-2018, mực nước lớn nhất tại Vũng Tàu tăng 0,41 cm/năm; Nhà Bè tăng 1,12 cm/năm; Phú An tăng 1,28 cm/năm; Thủ Dầu Một tăng 1,23 cm/năm; Biên Hòa tăng 1,54 cm/năm; Bến Lức tăng 1,49 cm/năm.

Để đánh giá rõ hơn về độ gia tăng mực nước các giai đoạn, mặc dù độ gia tăng mực nước tại Vũng Tàu giai đoạn 1980-1999 rất lớn (0,94 cm/năm) nhưng mực nước tại Phú An chỉ gia tăng 0,42 cm/năm, Nhà Bè gia tăng 0,40 cm/năm. Trong khi mực nước tại Vũng Tàu giai đoạn 2000-2018 tăng 0,13 cm/năm (rất nhỏ) nhưng mực nước tại Phú An lại gia tăng lên 1,81 cm/năm, Nhà Bè gia tăng 1,66 cm/năm (Bảng 3-1).

*Bảng 3-1: Mức độ gia tăng mực nước lớn nhất năm tại các trạm thủy văn*

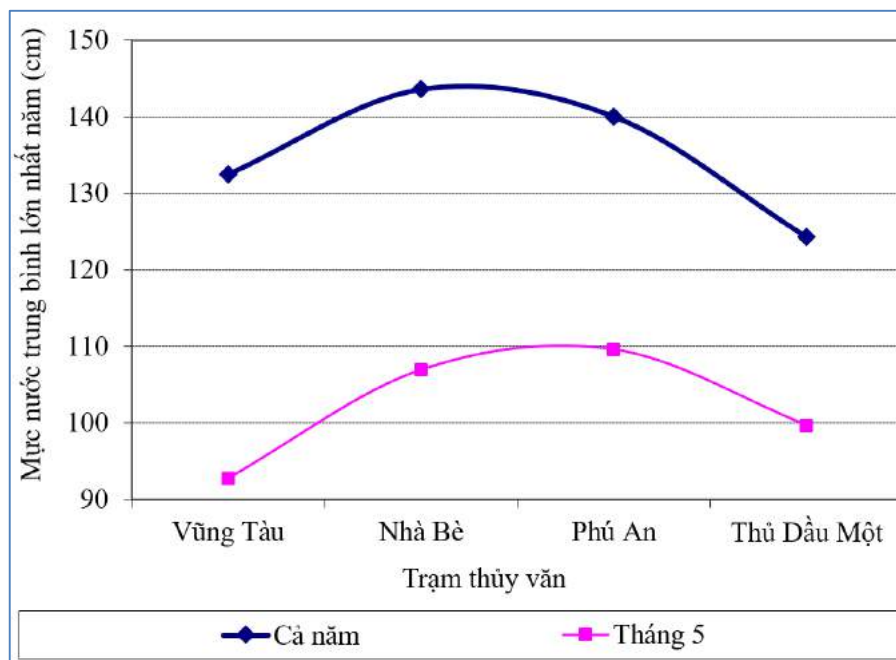
| Trạm                               | Giai đoạn        |                  |                  |                       |
|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------|
|                                    | 1980-2018<br>(1) | 1980-1999<br>(2) | 2000-2018<br>(3) | Chênh lệch<br>(3)-(2) |
| Mực nước lớn nhất năm (cm/năm)     |                  |                  |                  |                       |
| Vũng Tàu                           | 0,41             | 0,94             | 0,13             | -0,81                 |
| Nhà Bè                             | 1,12             | 0,40             | 1,66             | 1,26                  |
| Phú An                             | 1,28             | 0,42             | 1,81             | 1,39                  |
| Thủ Dầu Một                        | 1,23             | 0,15             | 2,55             | 2,40                  |
| Biên Hòa                           | 1,54             | 1,64             | 0,53             | -1,11                 |
| Bến Lức                            | 1,49             | 1,41             | 0,75             | -0,66                 |
| Mực nước lớn nhất tháng 5 (cm/năm) |                  |                  |                  |                       |
| Vũng Tàu                           | 0,38             | 0,50             | 0,35             | -0,15                 |
| Nhà Bè                             | 1,10             | 0,42             | 1,62             | 1,20                  |
| Phú An                             | 1,18             | 0,35             | 1,62             | 1,27                  |
| Thủ Dầu Một                        | 0,92             | 0,10             | 1,84             | 1,74                  |
| Biên Hòa                           | 2,46             | 3,57             | 1,83             | -1,74                 |
| Bến Lức                            | 1,07             | 0,96             | 1,07             | 0,11                  |

### 3.1.2. Biến động mực nước lớn nhất trong tháng 5

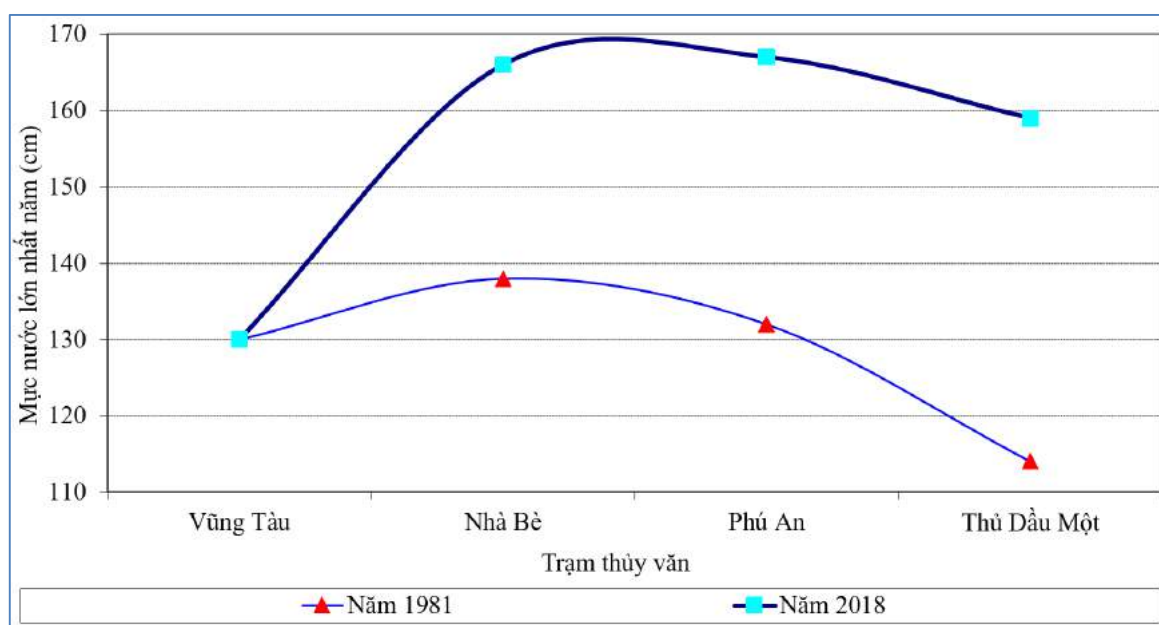
Phân tích rõ hơn việc tác động của địa hình đến mực nước trên sông khi tách các ảnh hưởng của mưa trong khu vực và lũ ở thượng lưu. Sử dụng mực nước lớn nhất trong tháng 5 [62] để phân tích tương quan. Theo kết quả phân tích, độ gia tăng mực nước lớn nhất tháng 5 giai đoạn 1980-2018 khá lớn. Tại trạm Vũng Tàu tăng 0,38 cm/năm; Nhà Bè tăng 1,01 cm/năm; Phú An tăng 1,18 cm/năm; Thủ Dầu Một tăng 0,92 cm/năm; Biên Hòa tăng 2,46 cm/năm; Bến Lức tăng 1,07 cm/năm. Điều này chứng tỏ, tác động của việc thu hẹp các bãi triều là một trong những nguyên nhân không những làm gia tăng mực nước trong sông về mùa lũ mà cả trong mùa kiệt.

### 3.1.3. Hình dạng đường mặt nước dọc sông

Theo phân tích số liệu mực nước lớn nhất thực đo của các trạm thủy văn, mực nước trung bình lớn nhất các năm có dạng vòng lên ở đoạn từ Phú An cho tới Nhà Bè (Hình 3-1), nơi mà các bãi triều ven sông hầu như đã bị giảm đáng kể. Xét riêng mực nước lớn nhất thực đo dọc sông năm 1981 và năm 2018, tại Vũng Tàu hầu như không đổi. Xét tại các trạm đo, mực nước năm 2018 có độ lớn tại các khu vực bãi triều bị thu hẹp (Phú An, Nhà Bè) (Hình 3-2 Hình 3-1).

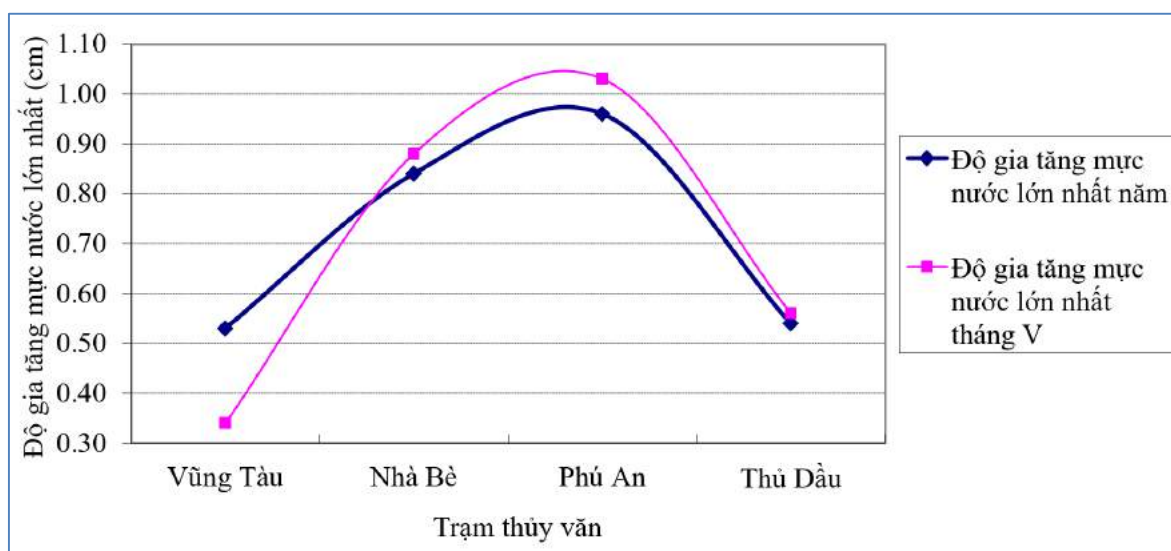


Hình 3-1: Đường mực nước trung bình lớn nhất thực đo dọc sông cả năm và tháng 5



Hình 3-2: Đường mực nước lớn nhất năm năm 1981 và năm 2018

Trong trường hợp xét về độ gia tăng mực nước lớn nhất năm và độ gia tăng mực nước lớn nhất tháng 5. Tốc độ gia tăng mực nước lớn nhất trong tháng 5 (mùa kiệt) của các trạm thủy văn Phú An và Nhà Bè lớn hơn độ gia tăng của mực nước lớn nhất năm (Hình 3-3). Như vậy, việc thu hẹp các bãi triều ảnh hưởng mạnh mẽ hơn đối với mực nước thấp do bề rộng mặt thoáng sông ứng với mực nước thấp nhỏ hơn khi mực nước cao.



Hình 3-3: Mức độ gia tăng mực nước trung bình lớn nhất năm và lớn nhất tháng 5

## **3.2. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU QUY LUẬT THAY ĐỔI CỦA BÃI TRIỀU ĐẾN MỨC NƯỚC VÀ LƯU LƯỢNG DỰA TRÊN MÔ PHỎNG MÔ HÌNH THỦY LỰC THỬ NGHIỆM**

### **3.2.1. Luận giải các trường hợp tính**

Để đánh giá tác động của bãi triều đến mực nước và lưu lượng trong lòng dẫn, các trường hợp tính toán được xây dựng dựa trên việc thay đổi quy mô bãi triều và các điều kiện còn lại không thay đổi. Các trường hợp tính toán bao gồm: (i) Trường hợp mở rộng bãi triều ven sông; (ii) Trường hợp thay đổi diện tích bãi triều; (iii) Trường hợp thay đổi vị trí bãi triều; (iv) Trường hợp thay đổi độ sâu bãi triều; (v) Trường hợp thay đổi diện tích mặt cắt sông tại hạ lưu. Mô tả các trường hợp tính toán được trình bày như dưới đây:

- ***Trường hợp mở rộng bãi triều ven sông***

Các trường hợp tính dựa trên việc mở rộng mặt cắt sông (thay đổi  $B_{bãi}$  từ 0 m đến 1.000 m tại hai bên sông) tại các đoạn sông: (i) Sông Soài Rạp từ ngã Ba Vàm Cỏ đến Mũi Đèn Đỏ; (ii) Sông Đồng Nai từ Mũi Đèn Đỏ đến Biên Hoà; Sông Sài Gòn từ Mũi Đèn Đỏ đến Thị Tịch (Hình 3-4). Tổng số các kịch bản tính trong trường hợp này là 6 kịch bản (Bảng 3-2).

- ***Trường hợp thay đổi diện tích bãi triều tại một vị trí***

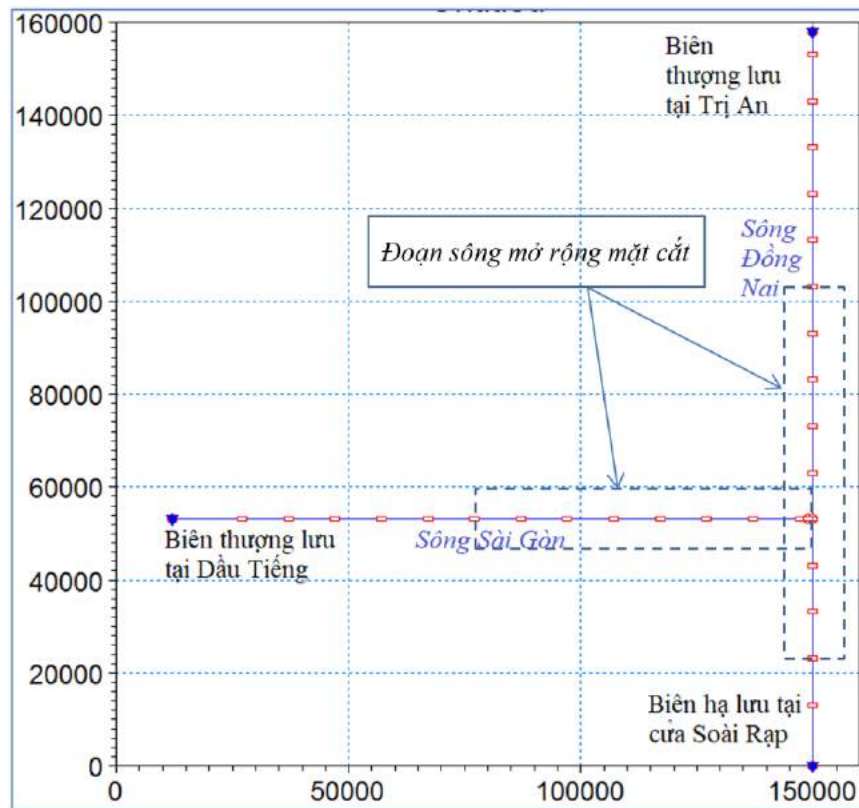
Các bãi ngập triều được giả thiết mô phỏng tại một vị trí với các diện tích khác nhau. Tổng số các kịch bản trong trường hợp này là 5 kịch bản (Bảng 3-2).

- ***Trường hợp thay đổi vị trí bãi triều***

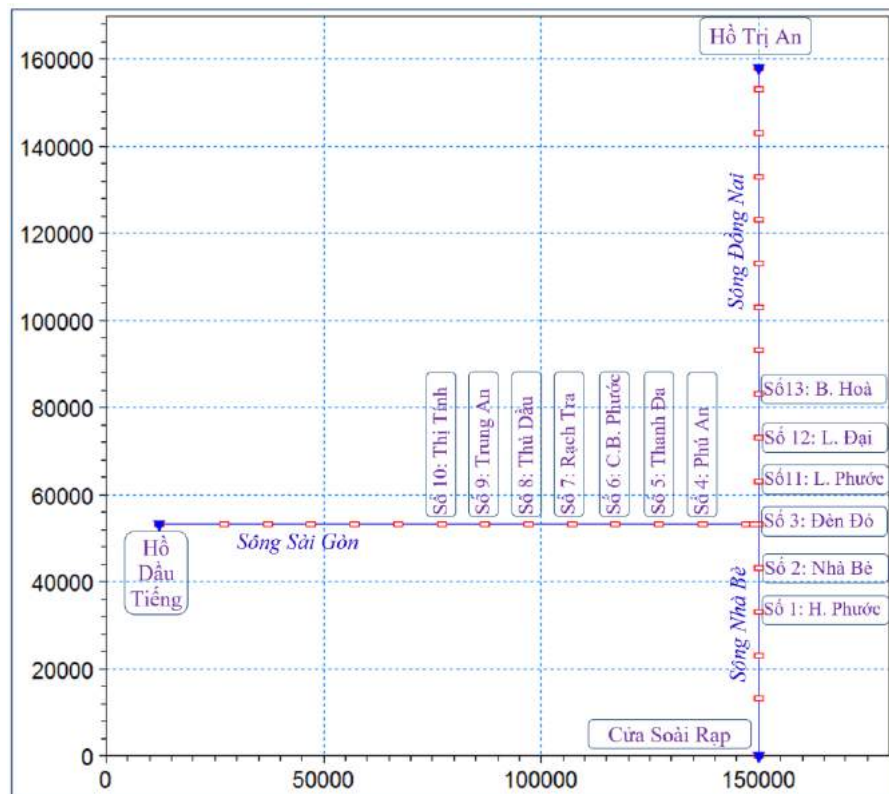
Các trường hợp tính được thiết lập dựa trên việc sử dụng cùng 1 diện tích bãi triều (5.000 ha) nhưng trong mỗi một trường hợp tính toán các bãi triều tại các vị trí khác nhau (dịch chuyển dẫn lên thượng lưu 10 km cho mỗi một lần mô phỏng) (Hình 3-5) [63]. Tổng số các kịch bản tính trong trường hợp này là 10 kịch bản (Bảng 3-2).

- ***Trường hợp thay đổi độ sâu bãi triều***

Để đánh giá mức độ thay đổi về mực nước khi độ sâu bãi triều thay đổi, các cao trình bãi được điều chỉnh để mô phỏng. Tổng số các kịch bản trong trường hợp này là 16 kịch bản (Bảng 3-2).



Hình 3-4: Đoạn sông mở rộng mặt cắt trong mô hình thử nghiệm



Hình 3-5: Các bãi triều giả định trong các trường hợp tính



• **Trường hợp thay đổi diện tích mặt cắt sông**

Việc mở rộng diện tích mặt cắt sông trong mô hình thử nghiệm được thực hiện từ cửa sông Soài Rạp vào đến cảng Hiệp Phước với chiều dài sông khoảng gần 35 km. Quy mô diện tích mặt cắt ướt được mở rộng tăng dần từ 0% đến 10% so với diện tích mặt cắt ướt hiện trạng (Hình 3-6). Tổng số các kịch bản trong trường hợp này là 6 kịch bản (Bảng 3-2).

**Bảng 3-2: Các kịch bản tính trong mô hình thủy lực thử nghiệm**

**Trường hợp mở rộng bãi triều ven sông** (với cao trình bãi triều trung bình khoảng +0,85m)

| Vị trí bãi triều | Mặt cắt ngang bãi triều (m) |     |     |     |     |      |
|------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
|                  | 0                           | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |
| Ký hiệu          | KC1                         | KC2 | KC3 | KC4 | KC5 | KC6  |

**Trường hợp thay đổi diện tích bãi triều**

| Phần trăm diện tích bãi (%) | Vị trí bãi triều tại                       |        |        |        |          |            |          |         |          |          |
|-----------------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|----------|------------|----------|---------|----------|----------|
|                             | Hiệp Phước                                 | Nhà Bè | Đền Đỏ | Phú An | Thanh Đa | C.B. Phước | Rạch Tra | Thủ Dầu | Trung An | Thị Tính |
| 0% (0 ha)                   | KC7 (tất cả các vị trí không có bãi triều) |        |        |        |          |            |          |         |          |          |
| 25% (1250ha)                |                                            |        |        |        | KC8      |            |          |         |          |          |
| 50% (2500ha)                |                                            |        |        |        | KC9      |            |          |         |          |          |
| 75% (3750ha)                |                                            |        |        |        | KC10     |            |          |         |          |          |
| 100% (5000ha)               |                                            |        |        |        | KC11     |            |          |         |          |          |

**Trường hợp thay đổi vị trí bãi triều**

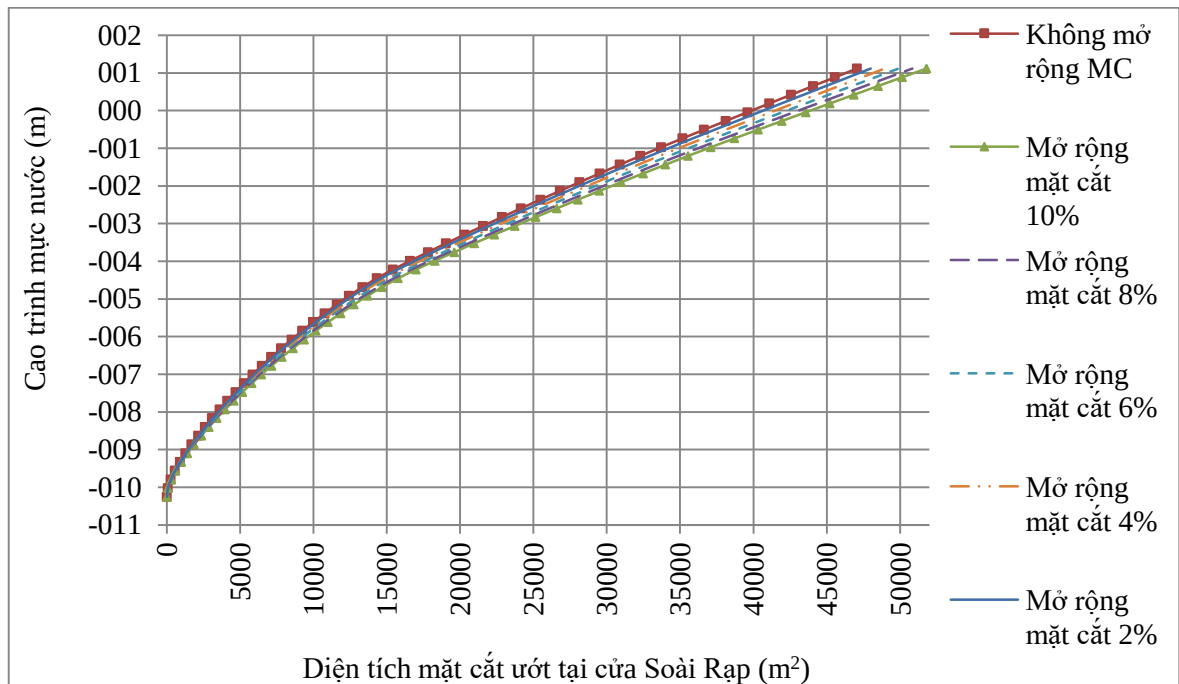
| Diện tích bãi (ha) | Vị trí bãi triều tại |        |        |        |          |            |          |         |          |          |
|--------------------|----------------------|--------|--------|--------|----------|------------|----------|---------|----------|----------|
|                    | Hiệp Phước           | Nhà Bè | Đền Đỏ | Phú An | Thanh Đa | C.B. Phước | Rạch Tra | Thủ Dầu | Trung An | Thị Tính |
| 5.000              | KC12                 | KC13   | KC14   | KC15   | KC16     | KC17       | KC18     | KC19    | KC20     | KC21     |

**Trường hợp thay đổi độ sâu bãi triều**

| Vị trí bãi triều | Cao trình đáy bãi triều (m) |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | +2,0                        | +1,5 | +0,5 | 0,0  | -0,5 | -1,5 | -2,5 | -3,0 |
| Phú An           | KC22                        | KC23 | KC24 | KC25 | KC26 | KC27 | KC28 | KC29 |
| Vị trí bãi triều | Cao trình đáy bãi triều (m) |      |      |      |      |      |      |      |
|                  | +1,5                        | +1,0 | +0,5 | 0,0  | -0,5 | -1,0 | -1,5 | -2,0 |
| Thủ Dầu Một      | KC30                        | KC31 | KC32 | KC33 | KC34 | KC35 | KC36 | KC37 |

**Trường hợp thay đổi diện tích mặt cắt sông**

| Đoạn mở rộng mặt cắt                | Phần trăm mở rộng thêm mặt cắt (%) |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                                     | 0%                                 | 2%   | 4%   | 6%   | 8%   | 10%  |
| Từ cửa sông Soài Rạp đến Hiệp Phước | KC38                               | KC39 | KC40 | KC41 | KC42 | KC43 |

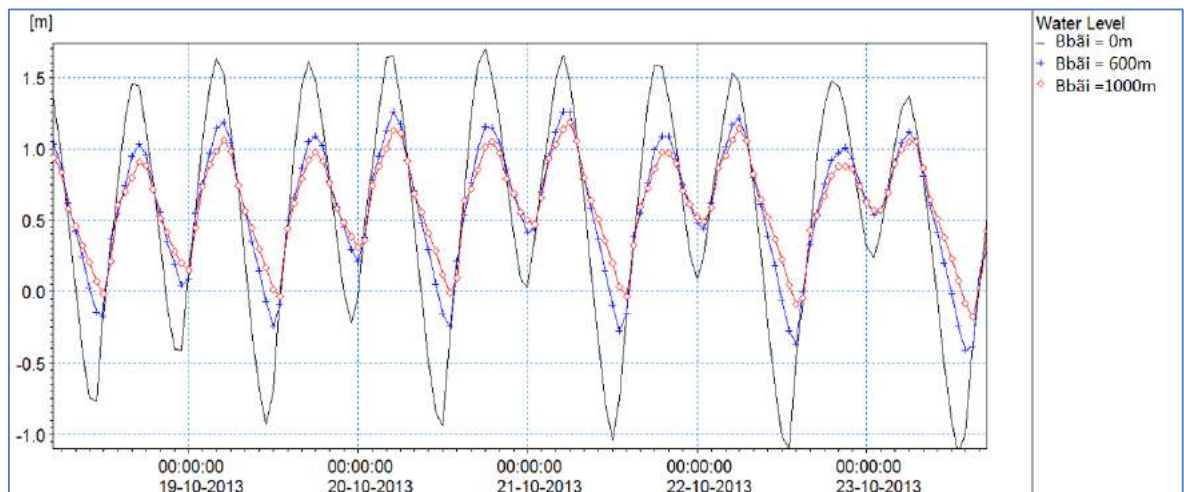


Hình 3-6: Diện tích mặt cắt utor tại cửa Soài Rạp hiện trạng và mở rộng mặt cắt

### 3.2.2. Kết quả nghiên cứu trường hợp mở rộng bãi triều ven sông

#### • Quy luật thay đổi về mực nước

Theo kết quả tính toán, khi giả thiết mở rộng bãi triều ven sông, biên độ triều trên sông thu hẹp làm mực nước lớn nhất giảm đi, mực nước nhỏ nhất tăng lên (Hình 3-7).



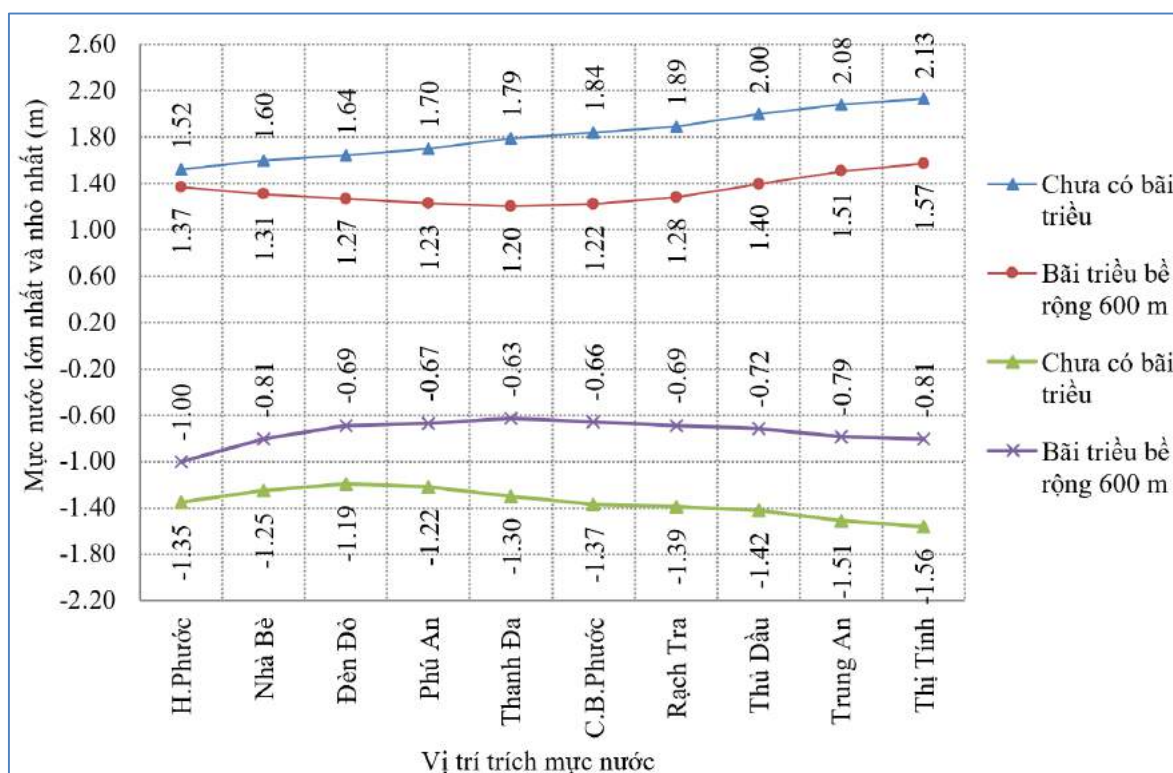
Hình 3-7: Quá trình mực nước tại Phú An trong các trường hợp mở rộng bãi triều

Mức độ giảm mực nước lớn nhất nằm tại khoảng giữa đoạn sông mở rộng mặt cắt. Cụ thể, nếu mở rộng mặt cắt từ Thị Tính (thượng lưu) đến Ngã ba sông Vàm Cỏ-Soài Rạp thì mức độ giảm mực nước lớn nhất xảy ra tại Thanh Đa và Cầu Hiệp Bình Phước

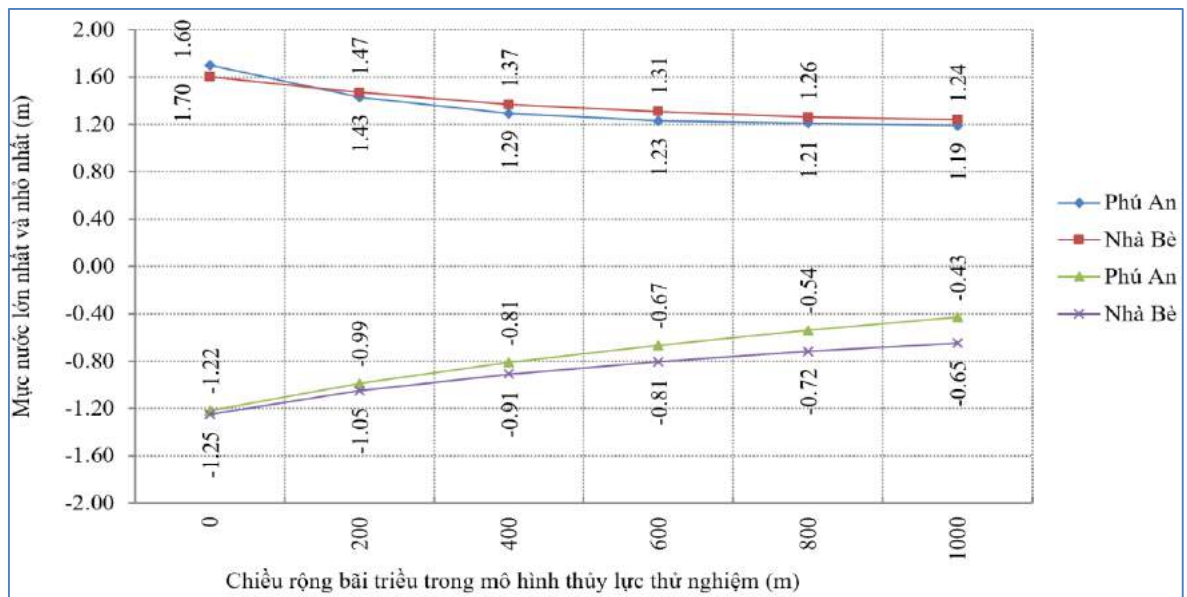
(Hình 3-8). Trong trường hợp mở rộng mặt cắt sang hai bên bờ 600 m ( $B_{bãi} = 600$  m, trường hợp KC4) thì mức độ suy giảm mực nước lớn nhất tại Cầu Hiệp Bình Phước đạt 0,62 m, tại Phú An giảm 0,47 m so với trường hợp KC1 ( $B_{bãi} = 0$  m), giảm từ cao trình +1,70 m còn +1,23 m.

Khi mở rộng bãi triều ven sông, mực nước nhỏ nhất tăng lên, đoạn sông có mực nước tăng lớn nhất cũng thuộc phạm vi giữa đoạn sông mở rộng mặt cắt (Hình 3-8). Kết quả tính toán chứng tỏ bãi triều có vai trò hết sức quan trọng đến mực nước trên sông tùy theo quy mô của nó.

Chẳng hạn xét tại hai vị trí Phú An và Nhà Bè, bề rộng bãi triều càng lớn thì độ suy giảm mực nước càng cao (Hình 3-9). Theo kết quả tính toán qua việc mở rộng mặt cắt ven sông từ 0 – 1000 m, cứ mỗi 100 m bãi triều ven sông được mở rộng thì mực nước lớn nhất tại Phú An giảm 5 cm, mực nước tại Nhà Bè giảm 4 cm và mực nước nhỏ nhất tại Phú An tăng 8 cm, mực nước tại Nhà Bè tăng 6 cm.

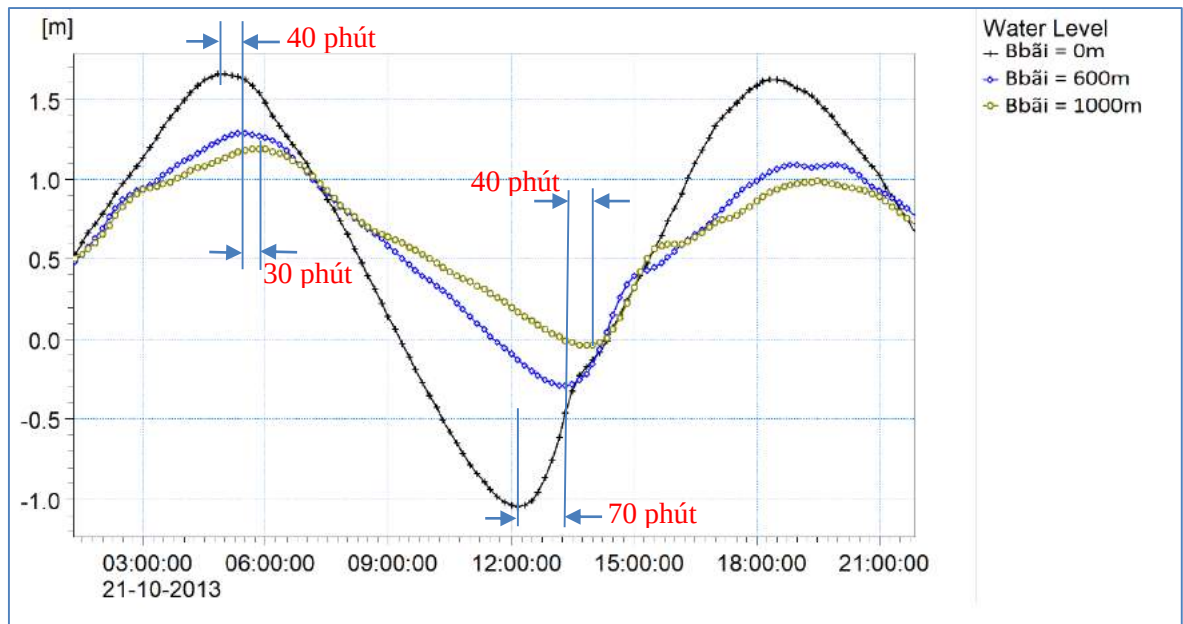


Hình 3-8: Mực nước lớn nhất và nhỏ nhất tại các vị trí khi bề rộng bãi triều 600m



Hình 3-9: Mức nước lớn nhất và nhỏ nhất tại Phú An và Nhà Bè trong các trường hợp mở rộng bãi triều ven sông

Pha triều trong các trường hợp mở rộng bãi triều ven sông chậm hơn khi chưa có bãi triều. Khi mô phỏng với bước thời gian nhỏ (10 phút) để tính toán độ lệch pha, thời gian giữa hai đỉnh triều có thể lên tới 70 phút và chân triều có thể lên đến 110 phút khi so sánh giữa trường hợp KC1 ( $B_{bãi} = 0$  m) và trường hợp KC6 ( $B_{bãi} = 1000$  m).

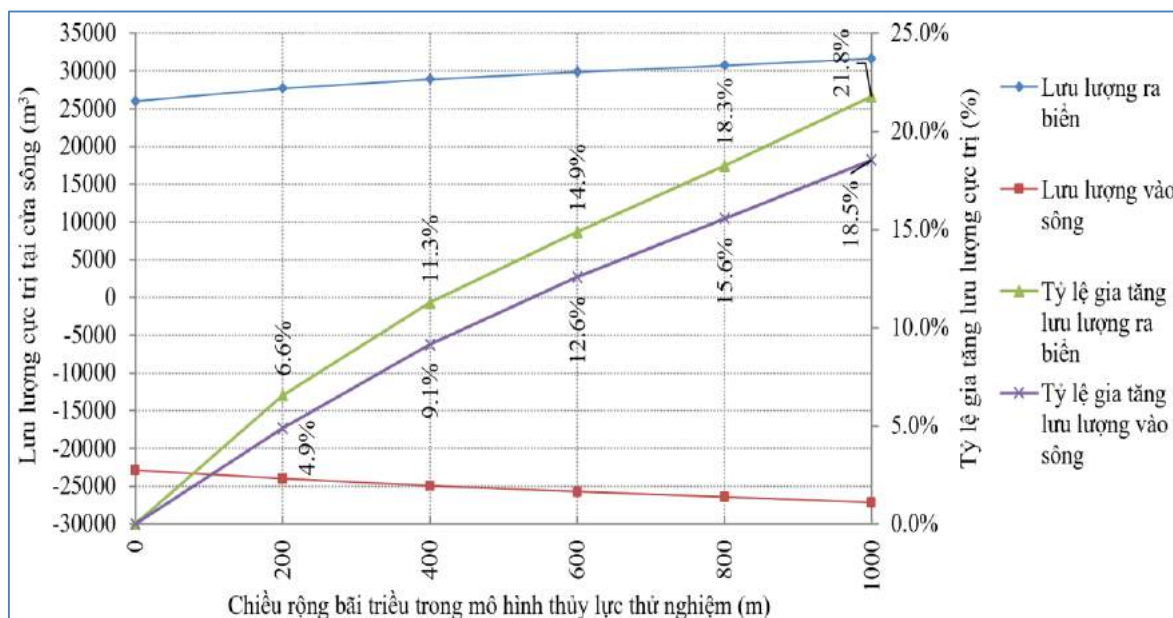


Hình 3-10: Độ lệch pha giữa đỉnh triều và chân triều tại Phú An trong các trường hợp mở rộng bãi triều ven sông

Như vậy, mối quan hệ giữa độ suy giảm mực nước lớn nhất và chiều rộng bãi triều trong kết quả mô hình thủy lực thử nghiệm thể hiện hợp lý với việc phân tích lý thuyết về truyền sóng triều cửa sông (mục 2.1).

• **Quy luật thay đổi về lưu lượng**

Khi mở rộng bãi triều ven sông, lưu lượng từ cửa sông đến vị trí mở rộng bãi triều (từ cửa sông Soài Rạp đến Biên Hòa và từ cửa sông Sài Gòn đến Thị Tính) gia tăng cả về trị số lớn nhất và nhỏ nhất. Đoạn sông thuộc thượng lưu bãi triều (từ Thị Tính đến Dầu Tiếng và từ Biên Hòa đến Trị An) lưu lượng giảm đi so với khi chưa mở rộng bãi triều. Cụ thể, khi mở rộng bãi triều ven sông lên 1000m, lưu lượng lớn nhất tại cửa sông Soài Rạp chảy ra biển tăng từ 26.000 m<sup>3</sup>/s lên 31.700 m<sup>3</sup>/s, tăng 21,8% so với khi chưa mở rộng bãi triều. Lưu lượng lớn nhất chảy vào sông cũng tăng từ -22.870 m<sup>3</sup>/s lên -27.100 m<sup>3</sup>/s, tăng 18,5% so với khi chưa mở rộng bãi triều (Hình 3-11). Như vậy, bãi triều đã làm cho lưu lượng trong sông gia tăng tính từ vị trí bãi triều đến cửa sông và suy giảm tính từ vị trí bãi triều lên thượng lưu. Điều này thể hiện bởi phân lưu lượng vào bãi triều khi có bãi triều.

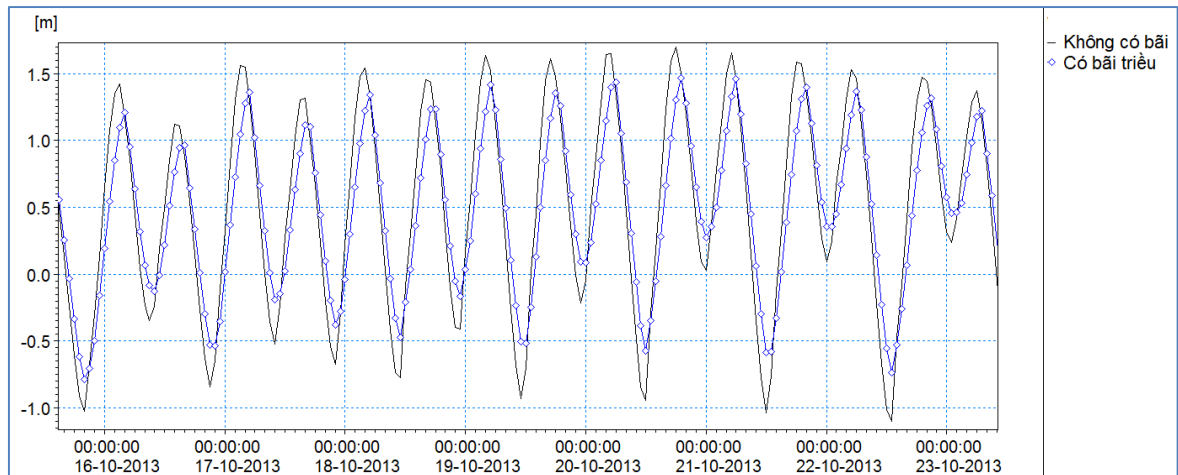


Hình 3-11: Lưu lượng cực trị và tỷ lệ gia tăng lưu lượng cực trị tại cửa sông trong các trường hợp mở rộng bãi triều ven sông



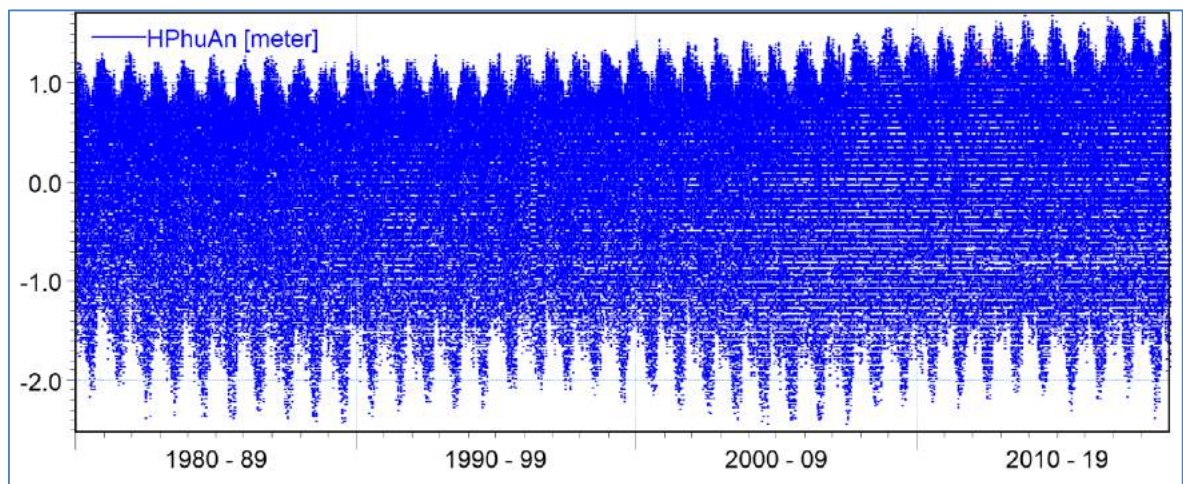
### 3.2.3. Kết quả nghiên cứu trường hợp thay đổi diện tích bãi triều

Theo kết quả tính toán, tại vị trí có bãi triều, biên độ triều cũng có xu hướng co hẹp lại làm cho mực nước đỉnh triều có xu hướng giảm thấp, mực nước chân triều có xu hướng tăng lên (Hình 3-12).



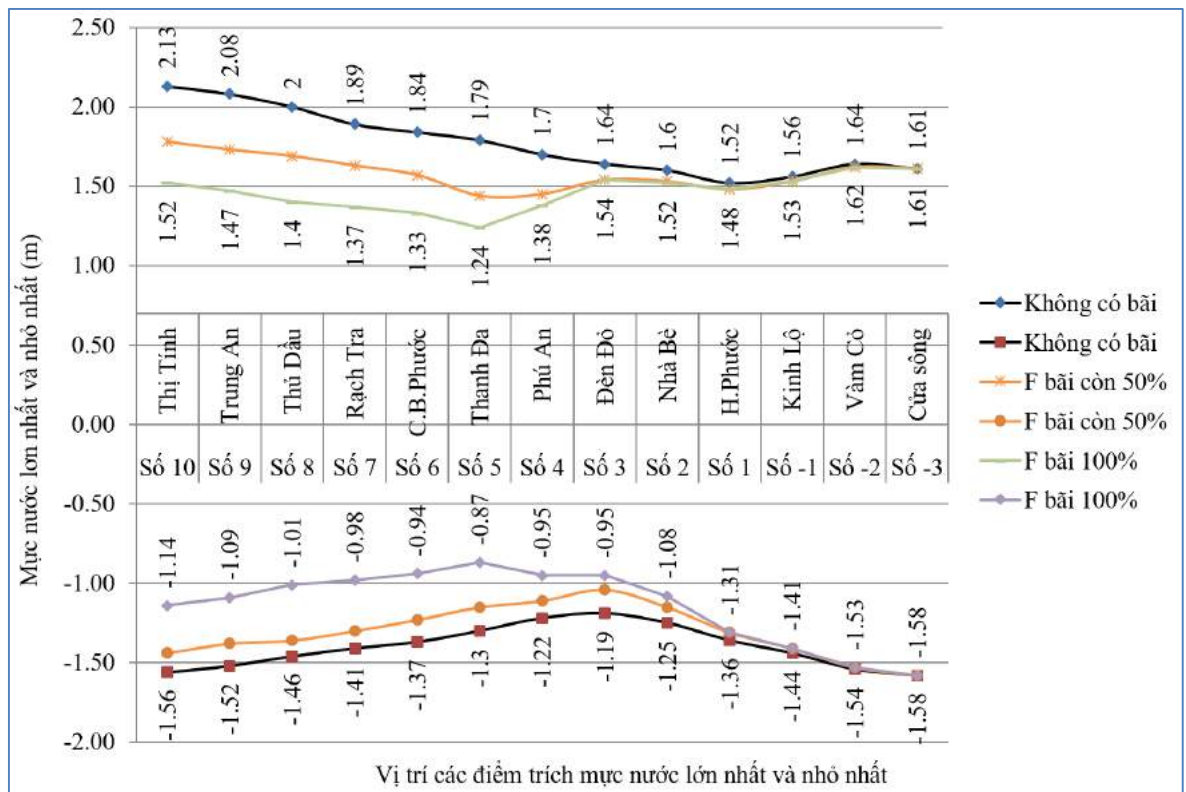
Hình 3-12: Thay đổi mực nước trường hợp có và không có bãi triều

Quá trình thay đổi trên cũng được minh chứng bằng số liệu thực đo tại trạm Phú An (Hình 3-13), mực nước lớn nhất tăng lên và mực nước nhỏ nhất giảm thấp khi các bãi triều giảm dần trong những năm gần đây.

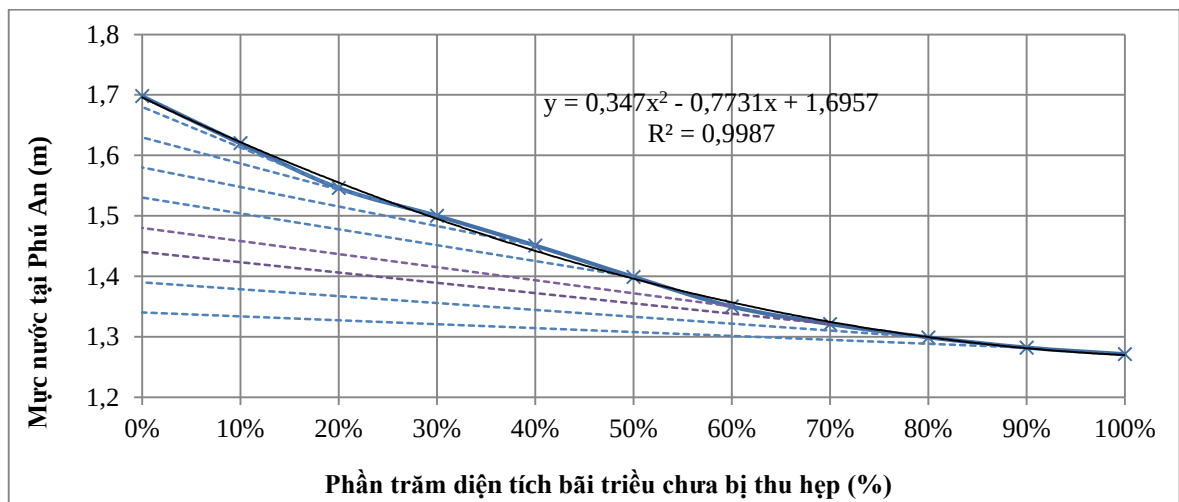


Hình 3-13: Mực nước thực đo tại trạm Phú An từ năm 1980 đến năm 2018

Các kết quả tính toán khi giảm diện tích bãi triều tại Thanh Đa (các trường hợp KC8 đến KC11), sự gia tăng mực nước càng lớn khi diện tích bãi triều thu hẹp dần (Hình 3-14).



Hình 3-14: Thay đổi mực nước lớn nhất và nhỏ nhất khi diện tích bãi triều tại Thanh Đa thay đổi

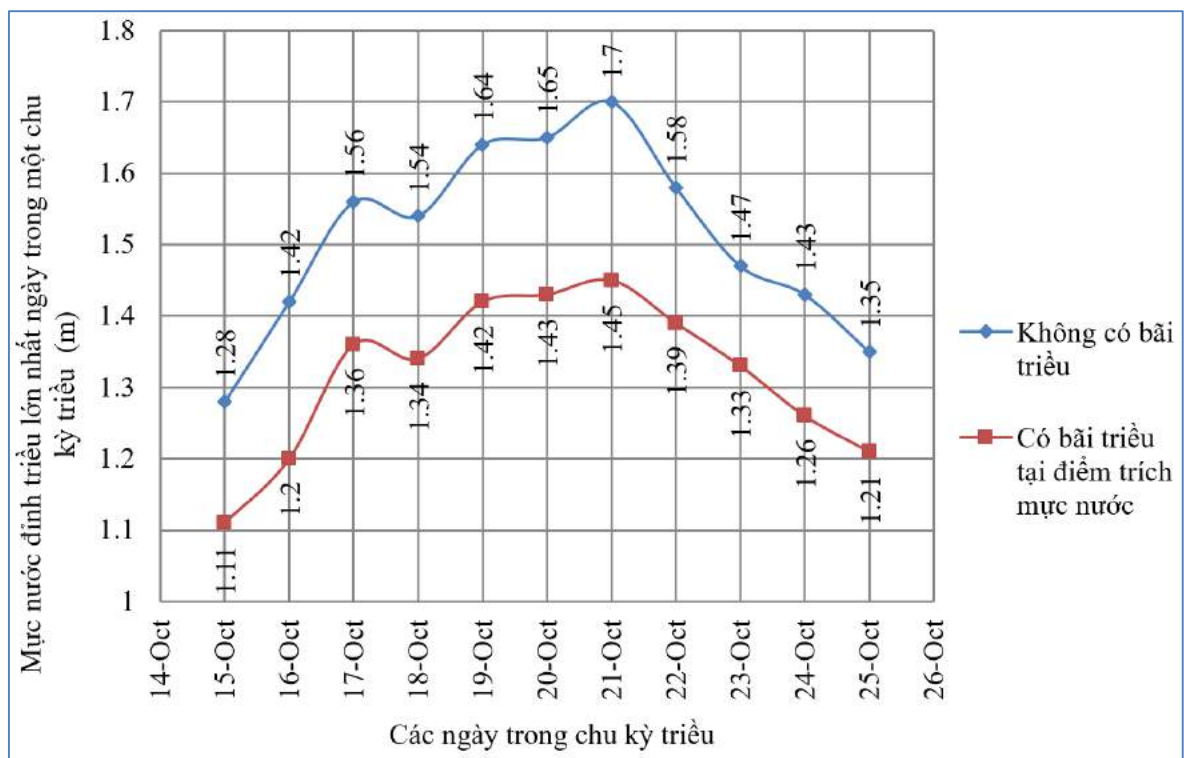


Hình 3-15: Thay đổi mực nước lớn nhất tại Phú An khi thay đổi diện tích bãi triều

Dựa vào kết quả về độ giảm mực nước và diện tích bãi triều, xây dựng được đường quan hệ về mức độ giảm mực nước và diện tích của bãi triều. Có thể thấy trên đồ đồ của đường quan hệ, khi diện tích bãi triều còn lớn (giảm diện tích bãi triều theo phần trăm) thì tốc độ gia tăng chậm, diện tích bãi càng nhỏ thì sự gia tăng mực nước càng

cao (Hình 3-15). Đây cũng là quan hệ để có thể đánh giá chung cho việc thay đổi các bãi triều của toàn bộ hạ lưu sông SG-ĐN tác động đến mực nước hoặc đánh giá thay đổi bãi triều tại một vị trí nào đó đến thay đổi mực nước lớn nhất trên sông.

Nếu xét quá trình mực nước trong một chu kỳ triều tại một vị trí có bãi triều, khi so sánh trường hợp không có và có bãi triều, mực nước đỉnh triều càng cao thì khả năng cắt triều của bãi càng lớn (Hình 3-16). Điều này cũng được giải thích, khi đỉnh triều càng lớn thì lưu lượng qua bãi triều cũng càng lớn làm cho khả năng cắt đỉnh triều của bãi triều tăng lên.

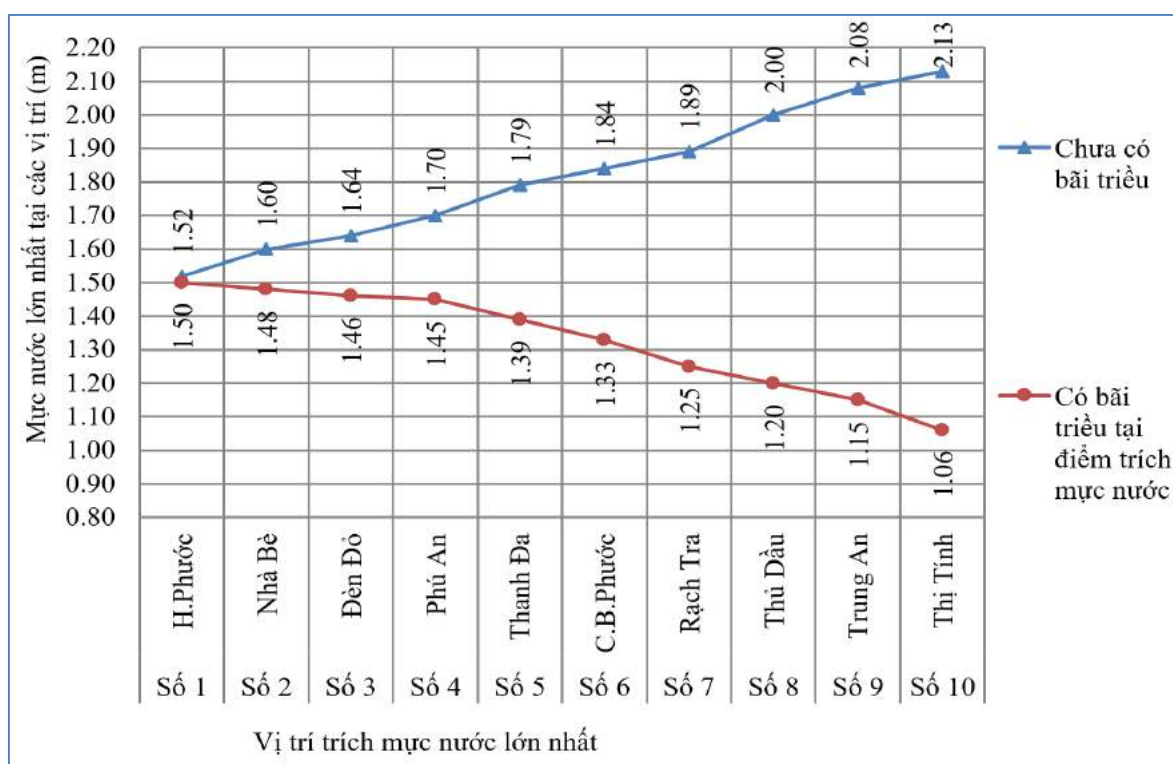


Hình 3-16: Thay đổi mực nước đỉnh triều lớn nhất trên sông tại Phú An

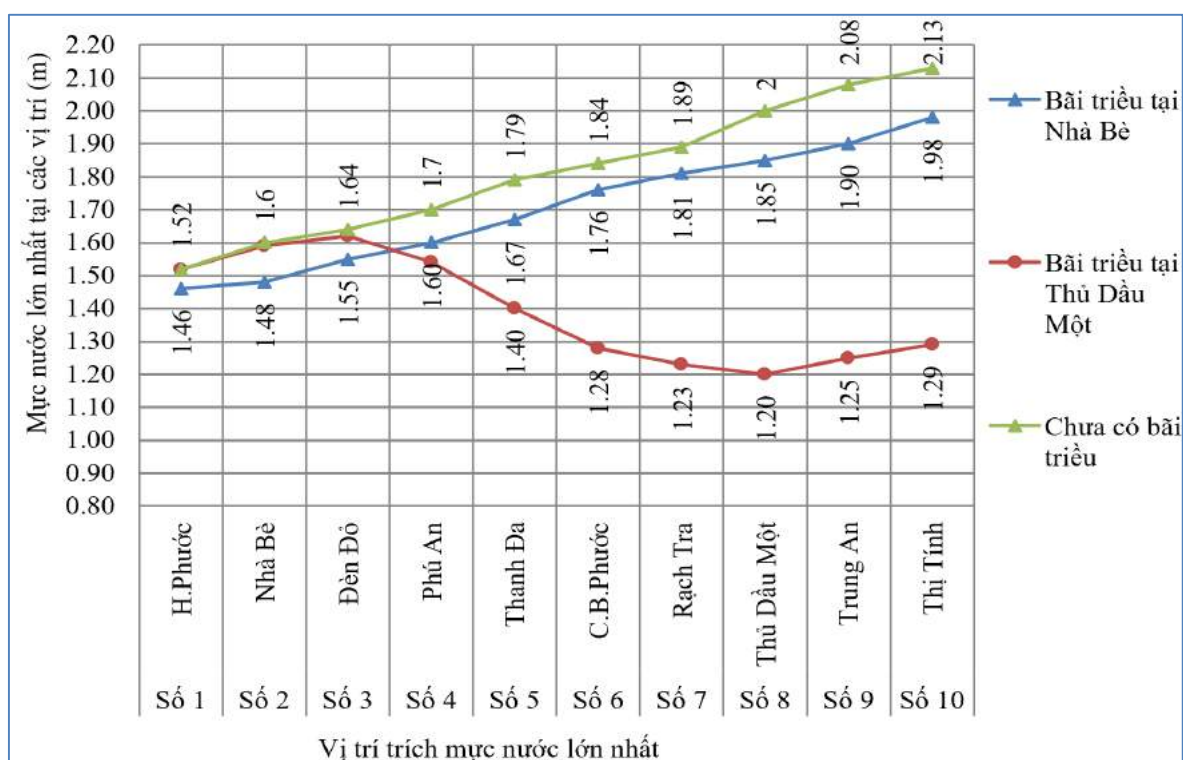
### 3.2.4. Kết quả nghiên cứu trường hợp thay đổi vị trí bãi triều

#### • Quy luật thay đổi về mực nước

Đối với việc thay đổi mực nước lớn nhất khi giả thiết bãi triều tại các vị trí khác nhau với cùng một diện tích bãi (diện tích 5.000 ha, các trường hợp KC12 đến KC21), độ giảm mực nước lớn nhất càng lớn khi chuyển bãi triều lên thượng lưu sông (thay đổi từ 0,02 m tại Hiệp Phước đến 1,05 m tại Thị Tính) (Hình 3-17).



Hình 3-17: Thay đổi mực nước lớn nhất tại các bãi triều giả định



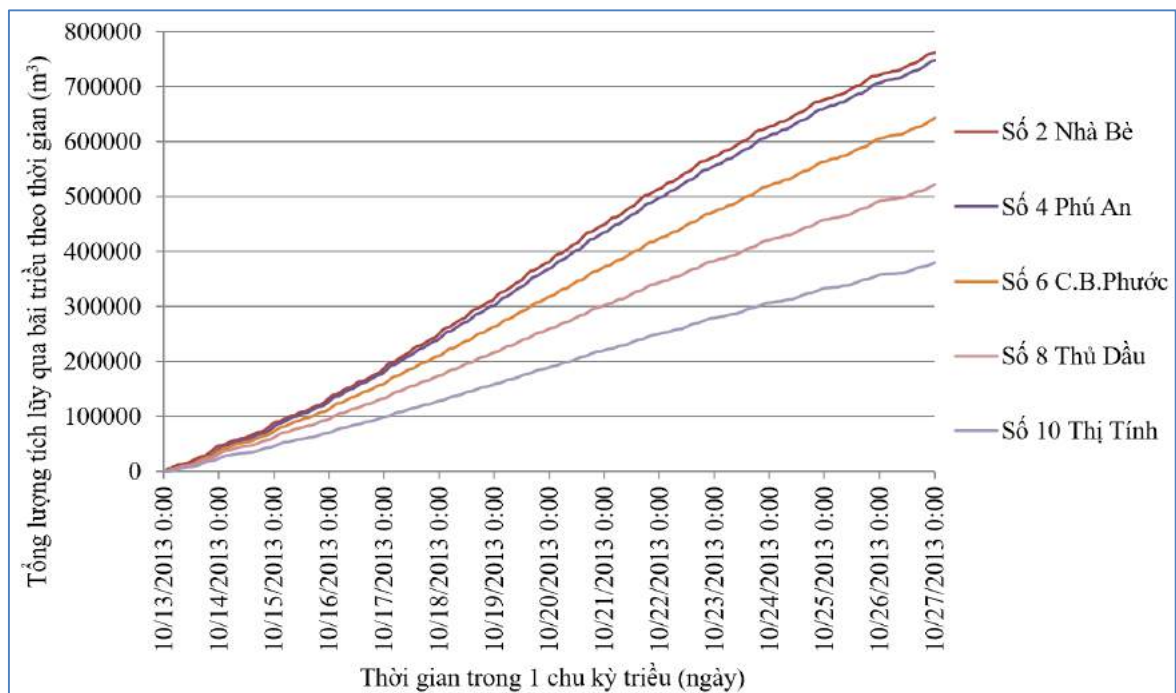
Hình 3-18: Thay đổi mực nước lớn nhất tại các vị trí khi giả thiết bãi triều tại Nhà Bè và Thủ Dầu Một



Nếu so sánh mực nước dọc sông trong trường hợp bãi triều nằm ở vị trí gần cửa sông (tại Nhà Bè) và nằm sâu trong vùng nghiên cứu (tại Thủ Dầu Một), độ giảm mực nước lớn nhất từ vị trí bãi triều lên thượng lưu. Khi bãi triều tại Thủ Dầu Một, mực nước trên sông Soài Rạp đoạn từ mũi Đèn Đỏ đến cửa sông hạ thấp không đáng kể. Từ mũi Đèn Đỏ lên thượng lưu sông Sài Gòn mực nước hạ thấp khá lớn (Hình 3-18). Như vậy, có thể thấy rằng, bãi triều đã làm giảm đáng kể mực nước lớn nhất tính từ vị trí bãi triều lên thượng lưu.

- **Quy luật về sự thay đổi lưu lượng**

Theo kết quả tính toán tổng lượng qua bãi triều, vị trí bãi triều càng đặt trên thượng lưu thì tổng lượng vào bãi triều càng giảm (Hình 3-19). Như vậy, các bãi triều càng gần biển sẽ có tác dụng cắt triều vào trong sông càng lớn.



*Hình 3-19: Thay đổi tổng lượng tích lũy qua bãi triều khi thay đổi vị trí bãi triều trong một chu kỳ triều*

Điều này có thể giải thích bằng tỷ lệ tổng lượng cắt triều của bãi triều ( $W^{bai}_i$ ) với tổng lượng dòng triều của sông tại vị trí bãi ( $W^{song}_i$ ). Các đại lượng này được tính theo phương trình sau:

$$W^{bai}_i = \int_0^T |Q^{bai}| dt; \quad W^{song}_i = \int_0^T |Q^{song}| dt$$



Trong đó:

$W^{bai}_i$  : Tổng lượng dòng chảy qua bãi thứ  $i$ ;

$T$  : Thời gian tính (tính cho 1 chu kỳ triều);

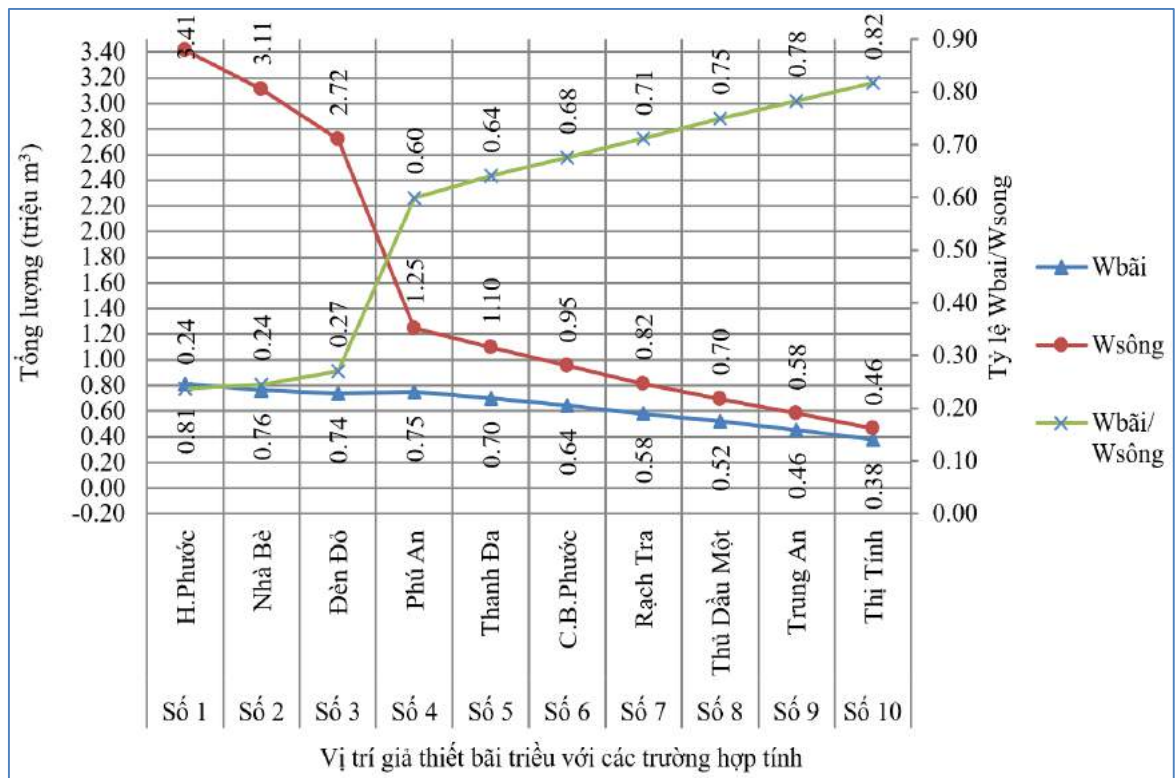
$Q^{bai}$  : Lưu lượng vào bãi triều;

$W^{song}_i$  : Tổng lượng dòng chảy qua mặt cắt sông thuộc hạ lưu bãi thứ  $i$ ;

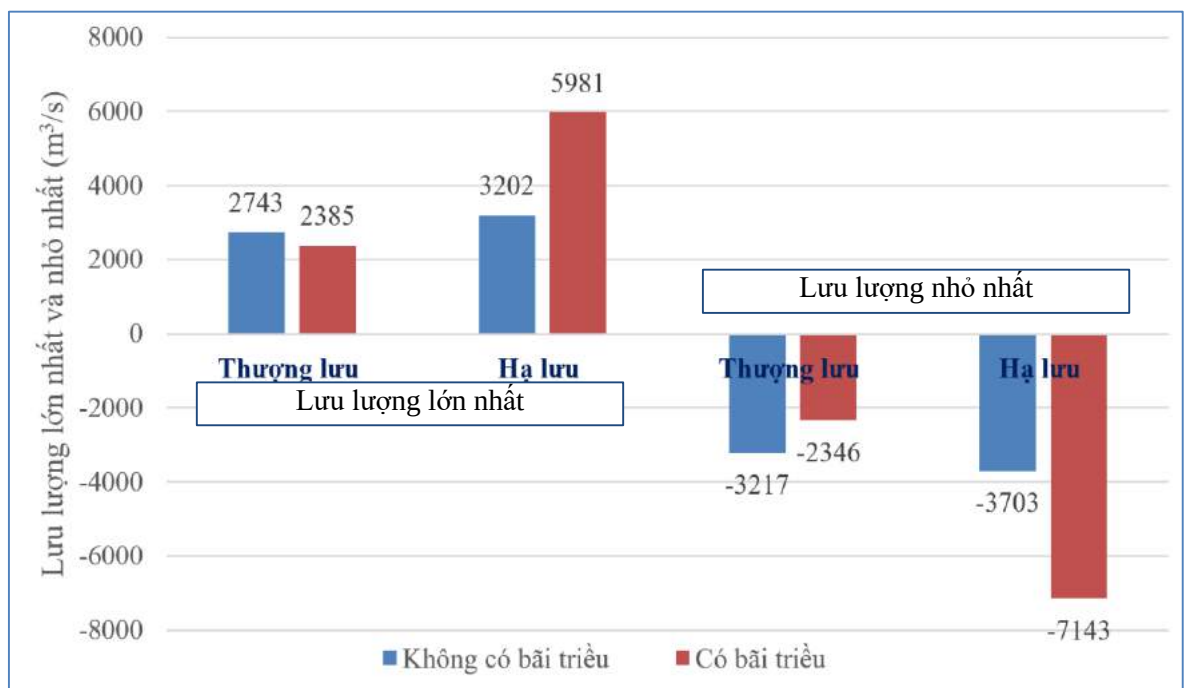
$Q^{song}$  : Lưu lượng qua mặt cắt sông thuộc hạ lưu bãi thứ  $i$ .

Theo kết quả phân tích, khi bãi triều gần với cửa sông, tổng lượng triều vào bãi lớn nhưng tổng lượng triều trên sông cũng lớn. Khi xét vị trí bãi triều nằm dịch lên thượng lưu sông, tổng lượng triều vào bãi nhỏ nhưng tổng lượng triều trên sông đã nhỏ đi. Tại Nhà Bè, tỷ lệ tổng lượng cát triều của bãi triều ( $W^{bai}_i$ ) với tổng lượng triều của sông tại vị trí bãi triều ( $W^{song}_i$ ) là 0,24 nhưng tại Thủ Dầu Một lại tăng lên 0,75 (Hình 3-20). Như vậy, dù khả năng cắt triều của các bãi triều tại vị trí gần cửa sông lớn nhưng do tổng lượng triều của sông lớn nên mực nước lớn nhất hạ thấp lại ít hơn. Tuy nhiên, do bãi triều nằm tại khu vực gần cửa sông nên mực nước lớn nhất toàn khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN đều được hạ thấp. Nếu bãi triều nằm ở thượng lưu sông thì chỉ tác động đến khu vực xung quanh vị trí bãi triều (đặc biệt từ vị trí bãi triều lên thượng lưu), những khu vực gần cửa sông mực nước lớn nhất lại giảm không đáng kể. Đây cũng là căn cứ để bố trí các bãi triều cho hợp lý nhằm hạ thấp mực nước đỉnh triều.

Nếu so sánh sự thay đổi lưu lượng trên sông giữa trường hợp có và không có bãi triều (Hình 3-21). Khi có bãi triều lưu lượng trên sông tại hạ lưu bãi triều tăng lên, lưu lượng trên sông tại thượng lưu bãi triều giảm đi. Điều này có thể sẽ dẫn tới vận tốc trên sông thay đổi và là một trong những nguyên nhân làm xói lở hoặc bồi lắng lòng dẫn.



Hình 3-20: Tổng lượng trong 01 chu kỳ triều và tỷ lệ tổng lượng của bãi triều với tổng lượng sông tại vị trí bãi triều

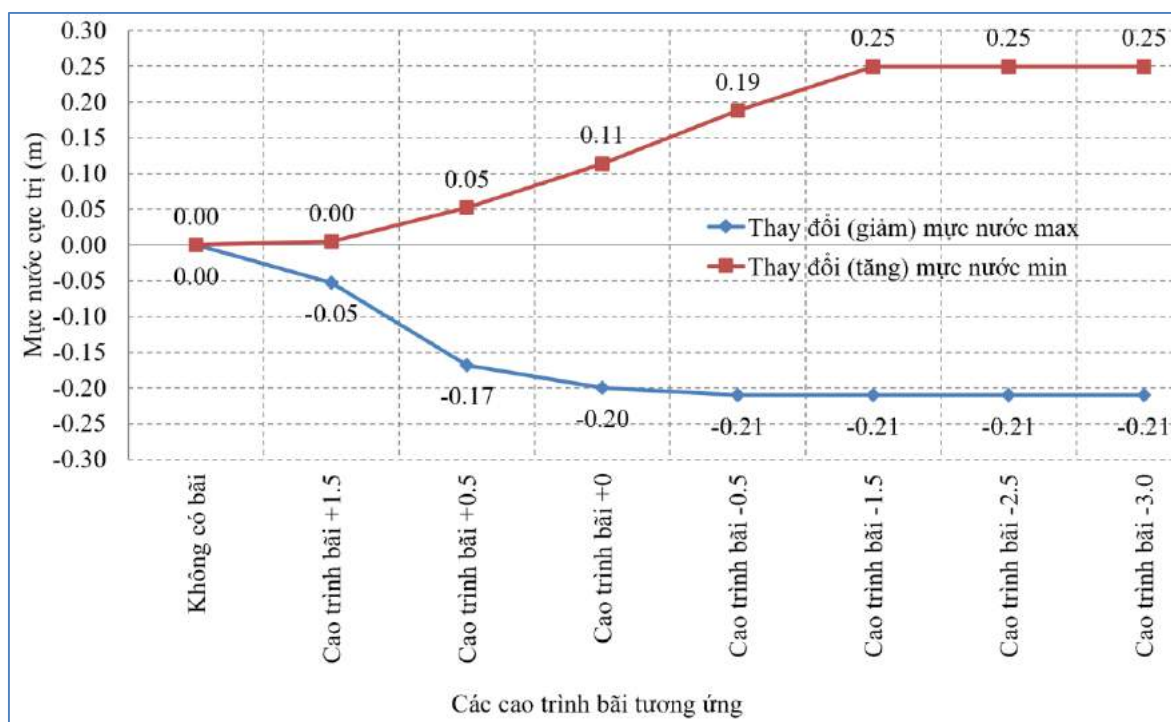


Hình 3-21: Thay đổi lưu lượng thượng lưu và hạ lưu bãi triều tại Phú An

### 3.2.5. Kết quả nghiên cứu trường hợp thay đổi độ sâu bãi triều

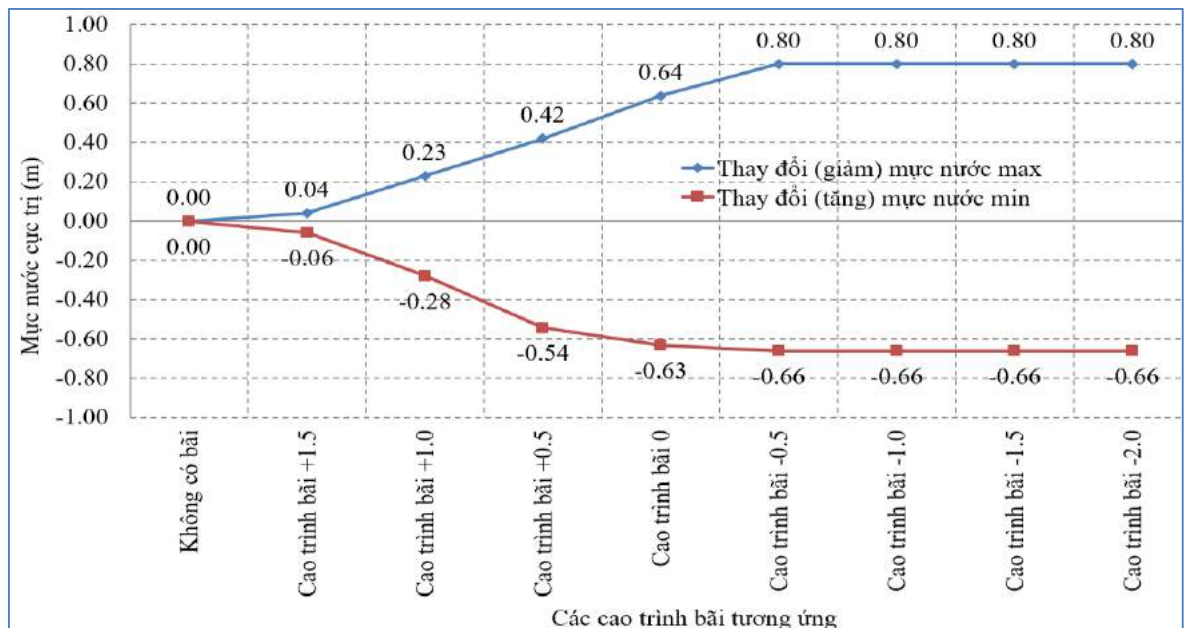
Theo kết quả tính toán, độ sâu bãi triều cũng ảnh hưởng rất lớn đến mực nước lớn nhất và nhỏ nhất trên sông (trường hợp KC22 đến KC37). Cao trình bãi triều tác động đến mực nước đỉnh và chân triều tại từng vị trí phụ thuộc vào chân triều tại vị trí đó. Nếu chân triều thấp nhất tại vị trí tính toán là trị số  $H_{\min}$  thì cao trình bãi triều sẽ có tác dụng làm giảm mực nước lớn nhất tính từ trị số này trở lên đến đỉnh triều.

Xét tại Phú An, trong thời kỳ triều cường, mực nước chân triều thường dao động từ cao trình -1,50 m đến cao trình +0,00 m. Trong trường hợp tính toán với con triều có mực nước thấp nhất -1,50 m thì cao trình đáy của bãi triều hạ thấp hơn -1,50 m sẽ không có tác dụng thay đổi mực nước lớn nhất và nhỏ nhất (Hình 3-22).



Hình 3-22: Tương quan biến đổi mực nước lớn nhất, nhỏ nhất và cao trình bãi thay đổi tại vị trí ứng với chân triều -1,5m (tại Phú An)

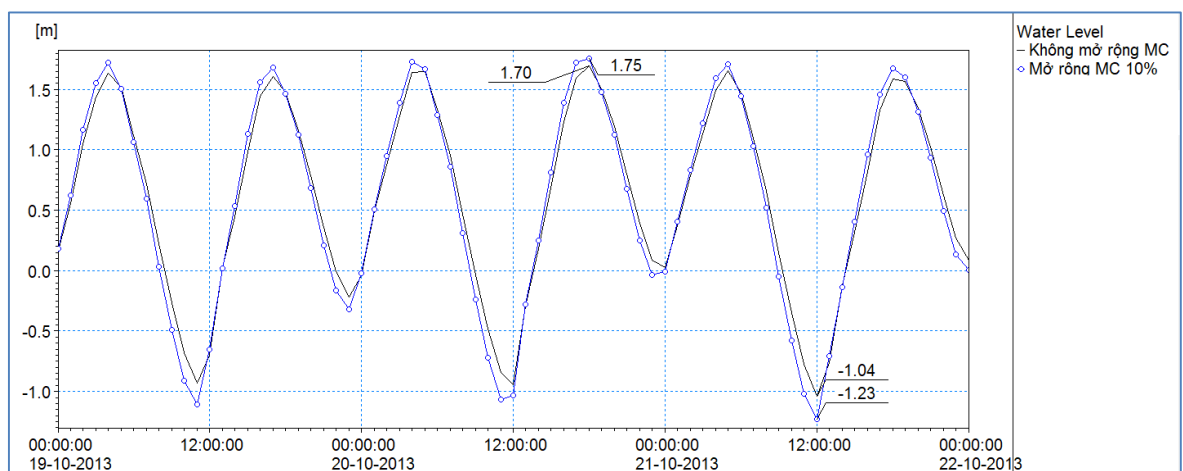
Kết quả tương tự khi xét tại Thủ Dầu Một. Trong trường hợp tính toán với con triều có mực nước thấp nhất -0,50 m thì cao trình đáy của bãi triều hạ thấp hơn giá trị này cũng không có tác dụng thay đổi mực nước lớn nhất và nhỏ nhất. Như vậy, cao trình bãi triều có tác động đến mực nước trong sông là cao trình trong phạm vi từ chân triều đến đỉnh triều (Hình 3-23).



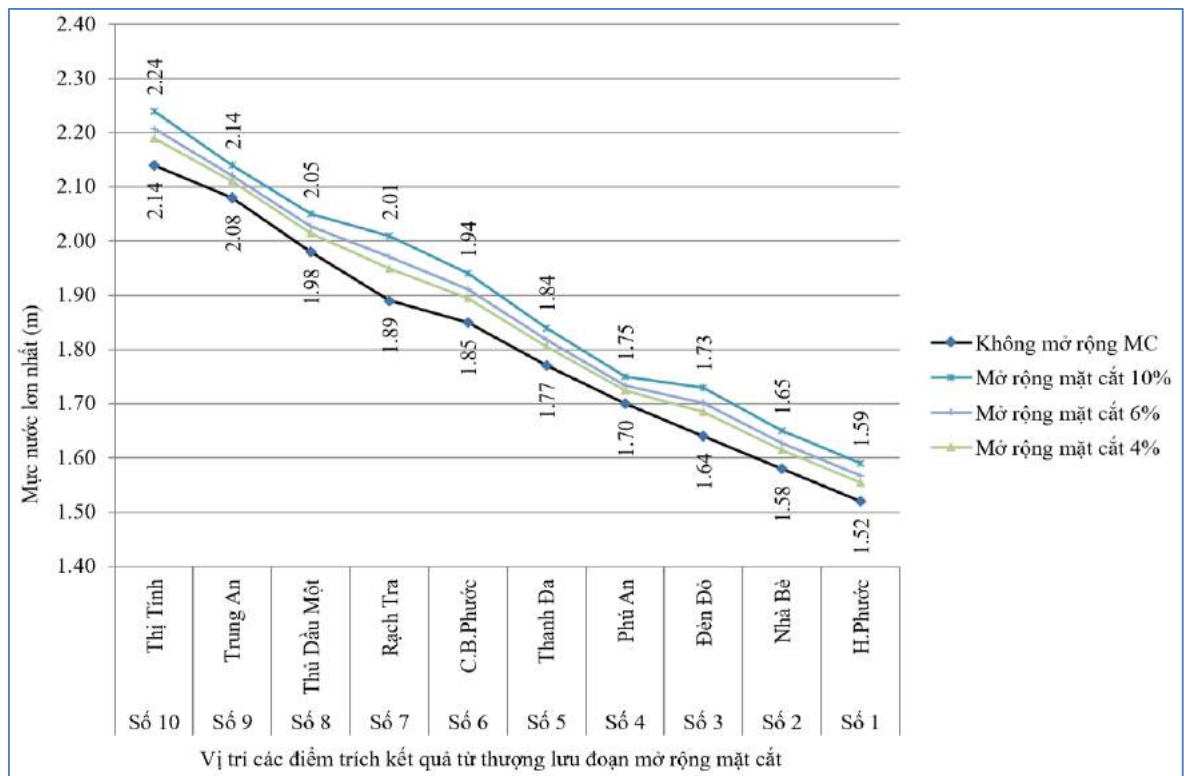
Hình 3-23: Tương quan biến đổi mực nước lớn nhất, nhỏ nhất và cao trình bãi thay đổi tại vị trí ứng với chân triều -0,5 m (tại Thủ Dầu Một)

### 3.2.6. Kết quả nghiên cứu trường hợp thay đổi diện tích mặt cắt sông

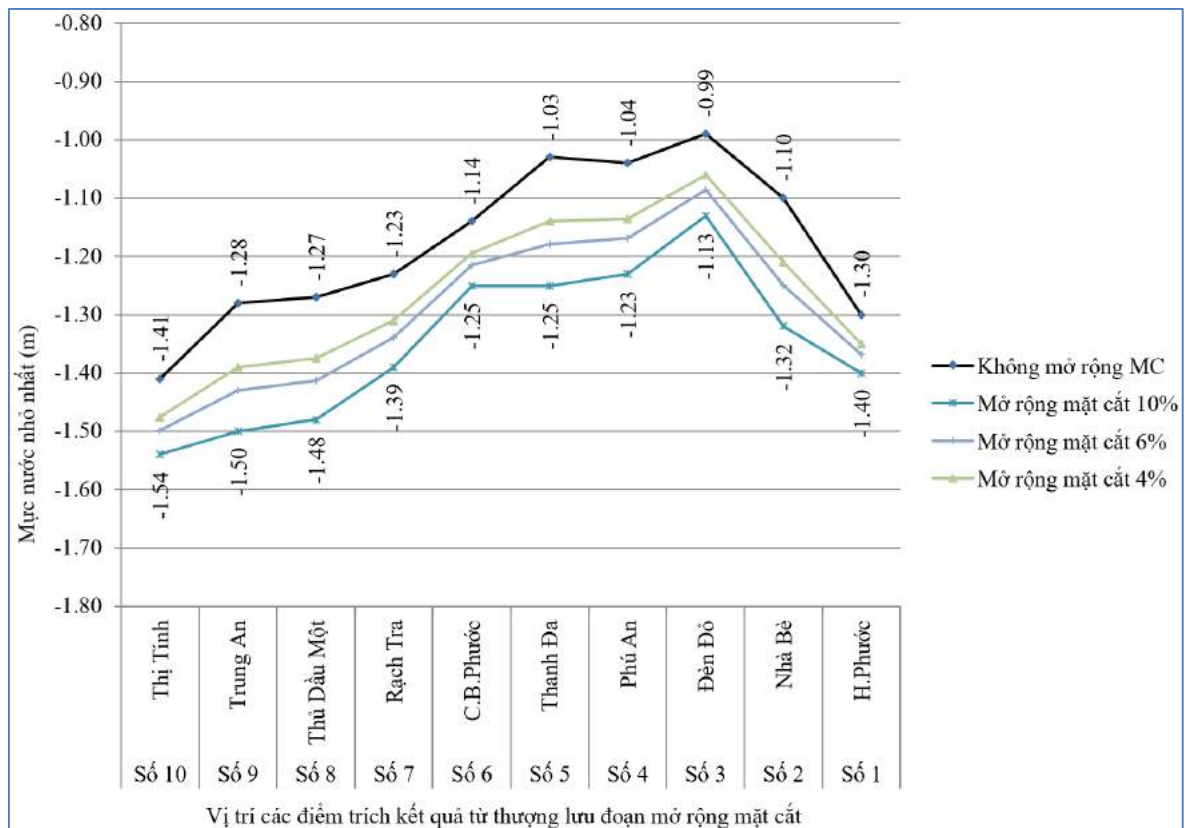
Việc mở rộng mặt cắt sông chính (trường hợp KC38 đến KC43) làm biên độ triều lớn thêm (mực nước lớn nhất có xu hướng gia tăng, mực nước nhỏ nhất có xu hướng hạ thấp) (Hình 3-24). Như vậy, đối với đoạn sông Soài Rạp hiện nay, do việc nạo vét lòng sông này, mực nước lớn nhất sẽ gia tăng (Hình 3-25) và mực nước nhỏ nhất lại có xu hướng giảm đi (Hình 3-26) tại các vị trí trên sông trong vùng nghiên cứu.



Hình 3-24: Quá trình mực nước tại Phú An trong trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt 10%



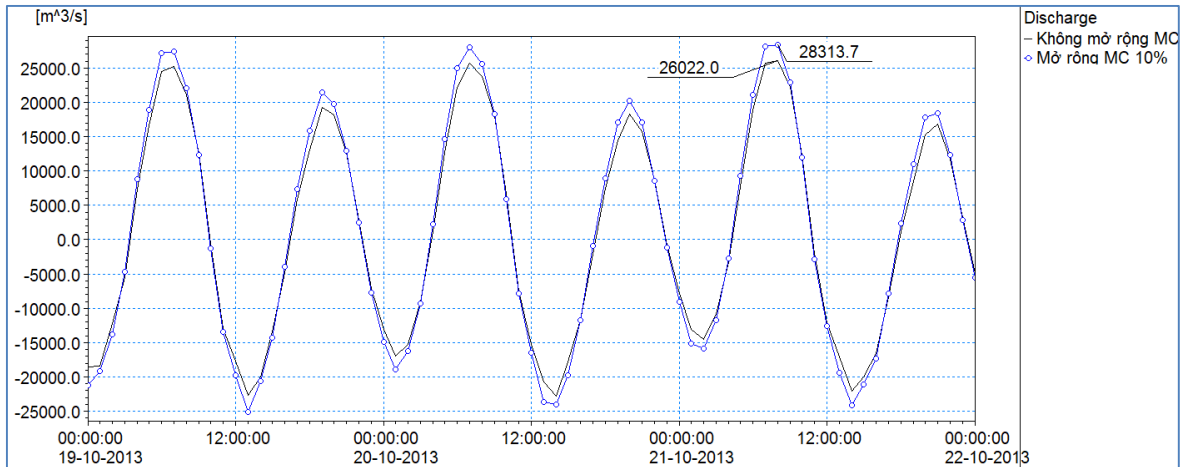
Hình 3-25: Mức nước lớn nhất dọc sông trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt



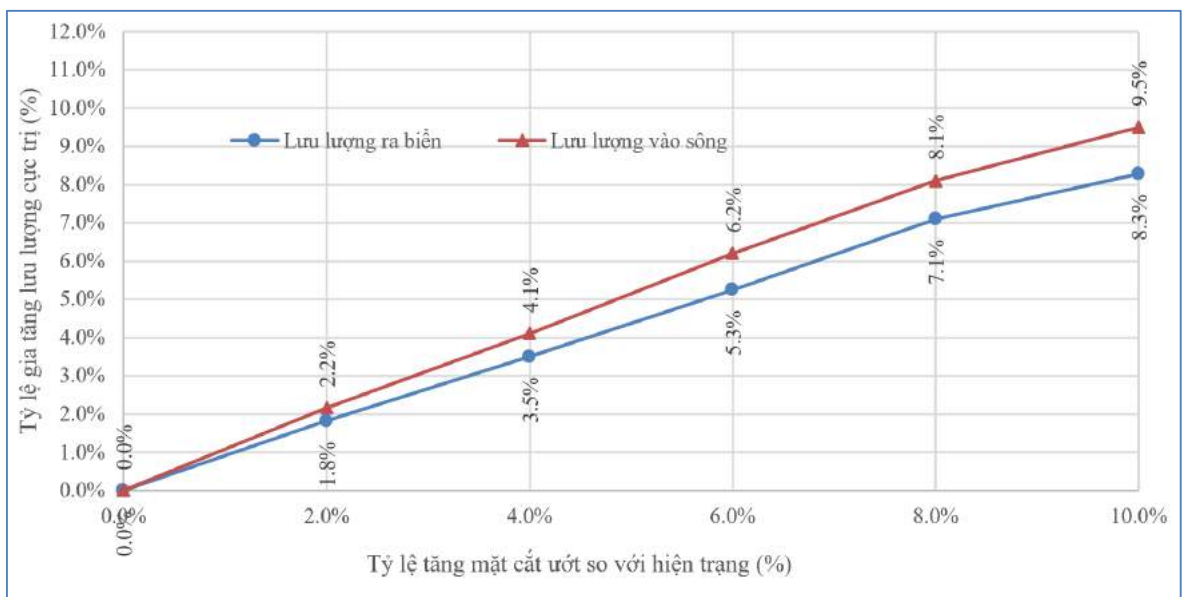
Hình 3-26: Mức nước nhỏ nhất trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt



Lưu lượng lớn nhất và nhỏ nhất tại cửa sông cũng gia tăng khi mở rộng mặt cắt (Hình 3-27). Lưu lượng lớn nhất chảy từ cửa sông ra biển tăng từ 26.020 m<sup>3</sup>/s (khi chưa mở rộng mặt cắt) đến 28.310 m<sup>3</sup>/s (khi mở rộng mặt cắt 10%), tăng 8,3%. Lưu lượng nhỏ nhất tăng từ -22.870 m<sup>3</sup>/s (khi chưa mở rộng mặt cắt) đến -23.360 m<sup>3</sup>/s (khi mở rộng mặt cắt 10%), tăng 9,5% (Hình 3-28).



Hình 3-27: Lưu lượng cửa Soài Rạp trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt



Hình 3-28: Gia tăng lưu lượng cực trị tại cửa sông trường hợp hiện trạng và mở rộng mặt cắt

Nếu tính toán tổng lượng qua mặt cắt tại cửa Soài Rạp trong một chu kỳ triều, tổng lượng qua mặt cắt tại cửa sông sẽ gia tăng từ 3,78 triệu m<sup>3</sup> trong trường hợp không mở rộng mặt cắt lên đến 4,12 triệu m<sup>3</sup> trong trường hợp mở rộng mặt cắt thêm 10%

(tăng 1,09 lần so với hiện trạng không mở rộng mặt cắt). Điều này cho thấy, khi mở rộng mặt cắt, dòng triều từ biển sẽ tăng lên, tác động vào trong lòng dẫn và làm cho mực nước lớn nhất trên sông tăng cao, mực nước nhỏ nhất hạ thấp.

### **3.3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU TÁC ĐỘNG CỦA BÃI TRIỀU ĐẾN MỰC NƯỚC VÀ LƯU LƯỢNG HẠ LƯU SÔNG SÀI GÒN – ĐỒNG NAI**

#### **3.3.1. Luận giải các kịch bản tính toán**

Để áp dụng vào tính toán thực tế cho khu vực hạ lưu sông SG-ĐN, mô hình 1 chiều (MIKE 11) và 2 chiều (MIKE 21) được sử dụng để tính toán. Các giả thiết nhằm định lượng sự thay đổi mực nước lớn nhất khi thay đổi cơ cấu sử dụng đất. Hai loại hình sử dụng đất chính được đưa vào để đánh giá: (i) Đất nông nghiệp và (ii) đất xây dựng. Trường hợp đánh giá khi các khu trũng thấp còn lại hiện nay có thể bị thay đổi cơ cấu sử dụng và triều không thể xâm nhập vào làm cho mực nước lớn nhất tăng lên trong thời gian tới cũng được định lượng trong nghiên cứu. Việc đánh giá tác động của sự phát triển khu Nam Sài Gòn tác động đến mực nước lớn nhất cũng được tính toán trong mục này. Cụ thể được trình bày như dưới đây:

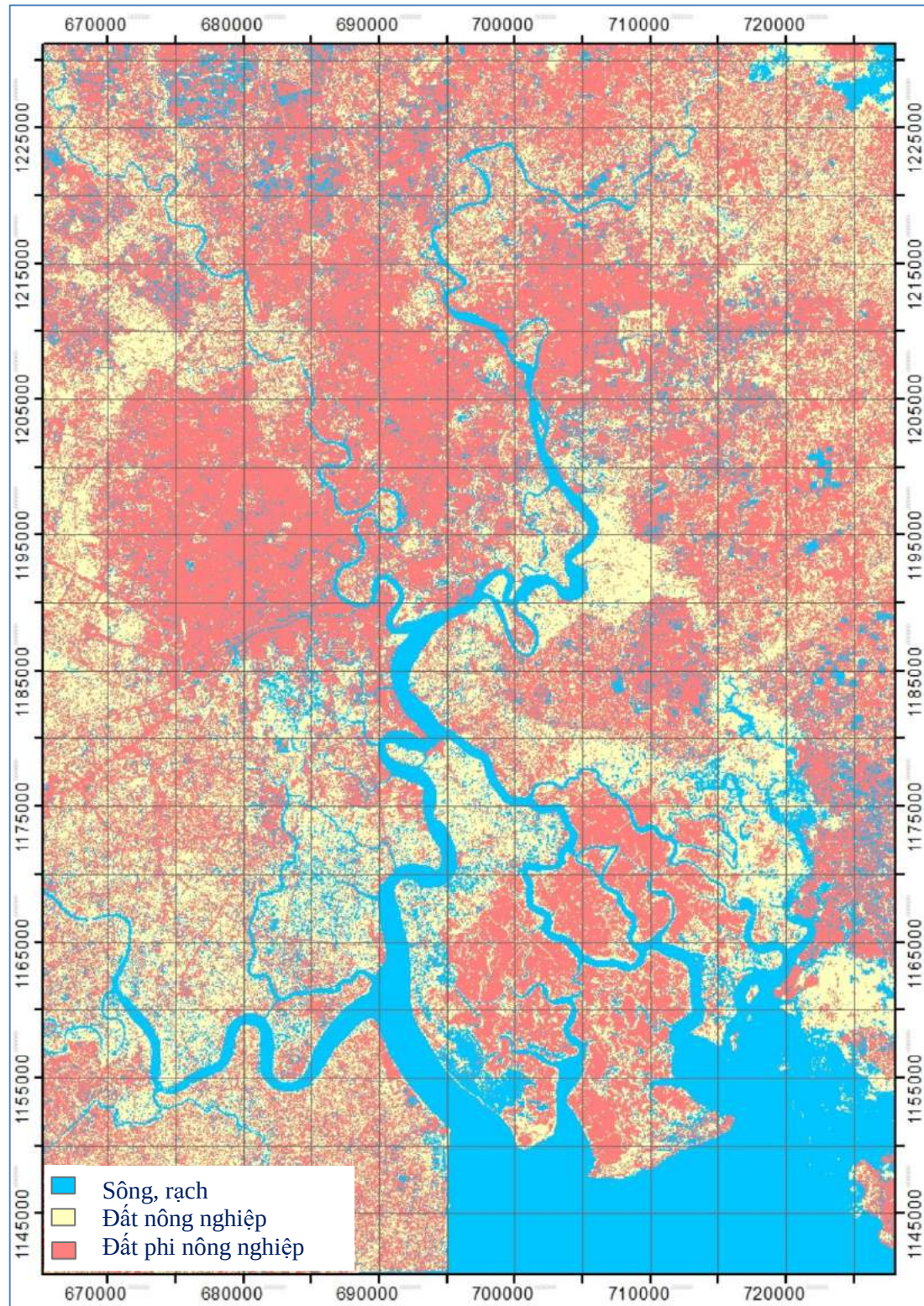
#### **• Tác động của các khu sản xuất nông nghiệp thuộc hạ lưu sông SG-ĐN**

Đặc điểm của các khu sản xuất nông nghiệp thông thường cách ly với dòng chảy ngoài sông bằng các đê bao và cống kiểm soát. Ưu điểm của các khu vực sản xuất nông nghiệp là nước mưa được trữ lại trong khu sản xuất và thường tiêu ra sông vào lúc triều thấp. Tuy nhiên, nhược điểm của khu vực này là nước triều ngoài sông không thể vào được khu sản xuất khi triều cao kể cả các khu trũng lẫn kênh rạch trong khu bảo vệ. Diện tích của khu sản xuất nông nghiệp chiếm tỷ lệ lớn nhất, khoảng 959.000 ha đạt 69,8% trên tổng diện tích đất tự nhiên (Hình 3-29).

#### **• Tác động của các khu đất xây dựng thuộc hạ lưu sông SG-ĐN**

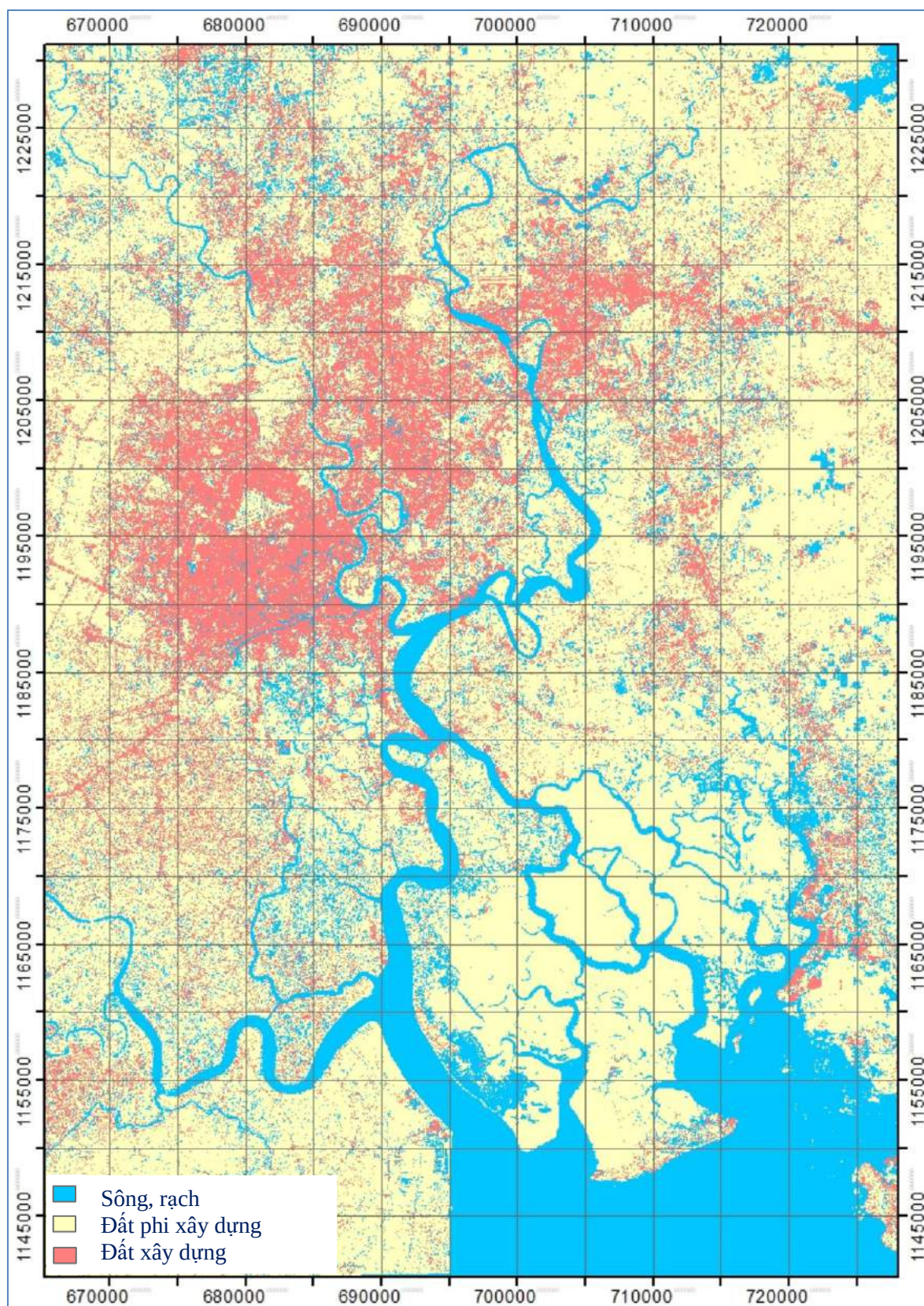
Đặc điểm của các khu đất xây dựng là cốt nền được tôn cao, nước vẫn có thể tràn vào các kênh rạch trong khu xây dựng, các hồ được quy hoạch. Nhược điểm của các khu vực này là nước mưa chảy ra sông ngay khi có mưa lớn, lưu lượng dòng chảy lớn, thời gian tập trung nước nhanh do diện tích đất không thấm tăng lên làm gia tăng mực

nước ngoài sông. Diện tích của đất xây dựng chiếm tỷ lệ lớn thứ hai, khoảng 288.360 ha đạt 21,0% trên tổng diện tích đất tự nhiên (Hình 3-30).



Hình 3-29: Minh họa khu vực sản xuất nông nghiệp dựa trên bản đồ sử dụng đất





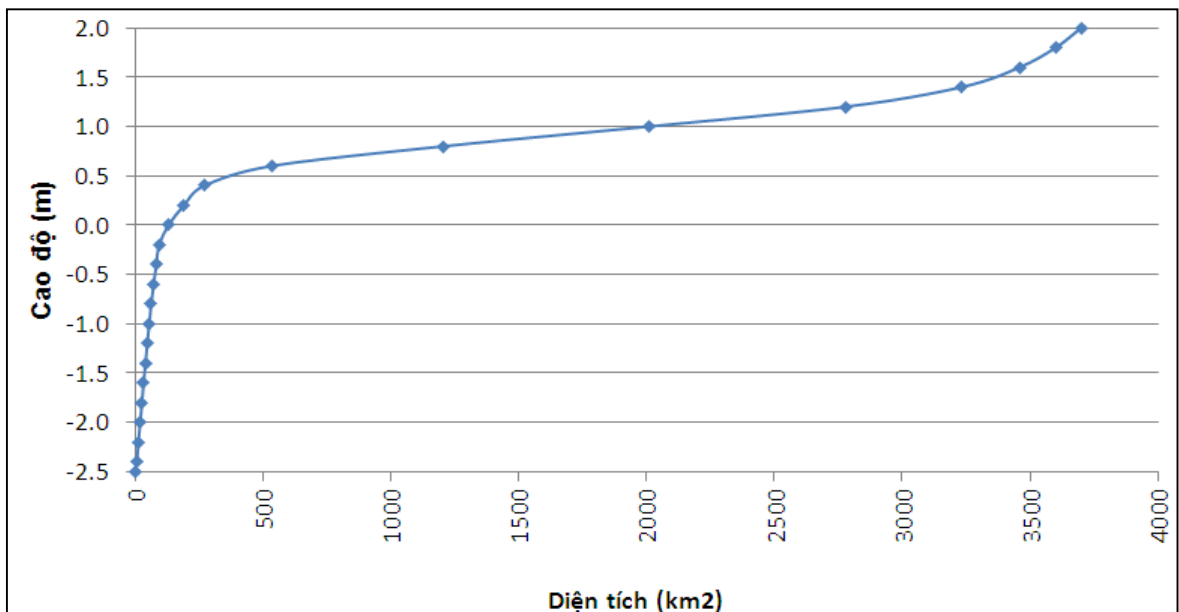
Hình 3-30: Minh họa khu đất xây dựng dựa trên bản đồ sử dụng đất

- **Tác động tích hợp của đất xây dựng và đất nông nghiệp thuộc hạ lưu sông SG-ĐN**

Tổng hợp hai loại hình sử dụng đất chính trên, tính toán và mô phỏng cho toàn bộ hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN định lượng được tác động của chúng đến mực nước lớn nhất trên sông.

- **Dự báo thay đổi mực nước khi các khu trũng thấp suy giảm thuộc hạ lưu sông SG-ĐN**

Đối với khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN, cao độ địa hình dưới cao trình +2,00 m khoảng 5.036 km<sup>2</sup> chiếm 38,5% tổng diện tích tự nhiên nếu tính cho toàn bộ hạ lưu từ Trị An, Dầu Tiếng và Cần Đăng đến biển (diện tích khoảng 13.092 km<sup>2</sup>). Nếu xét từ cao trình từ -2,50 m đến 2,00 m (dạng địa hình có thể chịu tác động của thủy triều thì tổng diện tích khoảng 3700 km<sup>2</sup> chiếm 28,3% tổng diện tích đất tự nhiên (Hình 3-31).

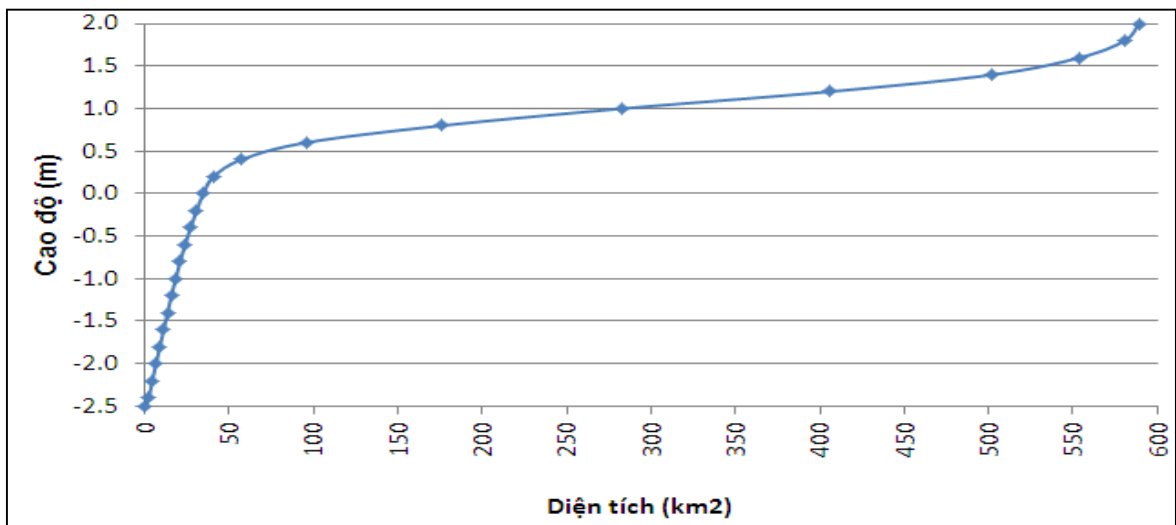


*Hình 3-31: Quan hệ diện tích và cao độ khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN*

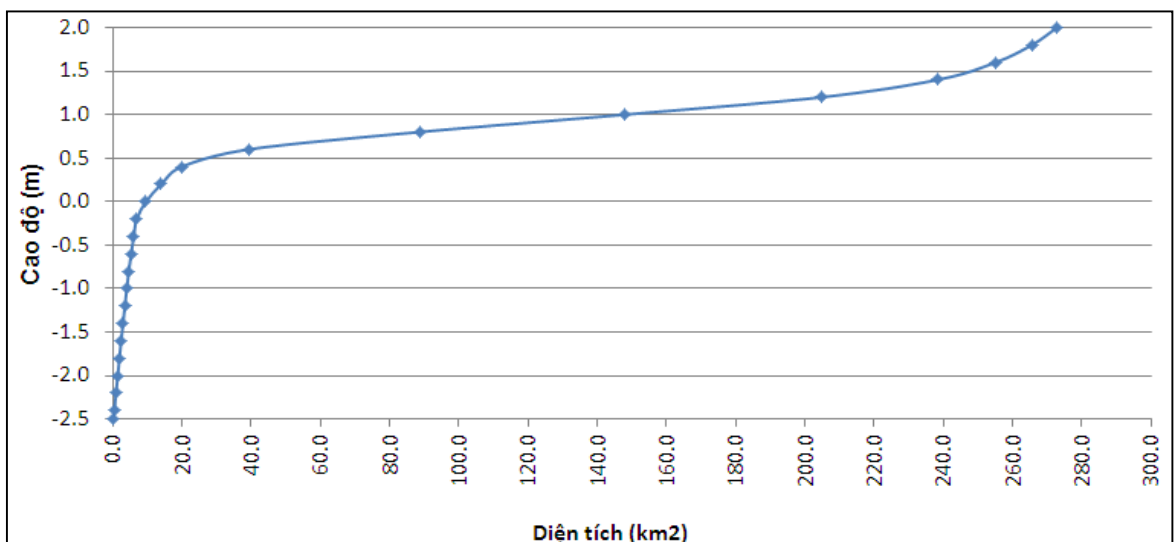
Tuy nhiên, do các bãi triều trước đây đã được canh tác nông nghiệp, một số khu vực được nâng cao cốt nền xây dựng nên các bãi triều còn lại rất ít. Hiện nay, ngoài một số khu vực ngoài đê bao, ven sông thì các khu trũng thấp có tương tác với triều trên sông chỉ còn lại một số khu vực như vùng Cần Giờ, vùng Nam Sài Gòn, vùng Cần Giuộc thuộc các sông Thủ Bộ, Kênh Hàng, khu vực Biên Hòa, Long Thành và một



số vùng ven sông chính của Đồng Nai, Sài Gòn và Vàm Cỏ Đông. Theo phân tích thống kê, tổng diện tích các khu trũng có thể tương tác với triều hiện nay chỉ còn khoảng 862 km<sup>2</sup> chiếm 23,3% tổng diện tích các khu có thể chứa triều. Trong phần diện tích trên, khu vực Cần Giờ khoảng 589 km<sup>2</sup> chiếm 68,3% các khu trũng thấp còn lại có thể tương tác với triều (Hình 3-32). Các khu vực khác còn lại chỉ còn khoảng 273 km<sup>2</sup> chiếm 31,7% các khu trũng thấp còn lại hiện nay có thể tương tác với triều (Hình 3-33) và chiếm 7,4% tổng các khu trũng thấp có cao trình dưới +2,00 m.



Hình 3-32: Quan hệ diện tích và cao độ khu vực Cần Giờ

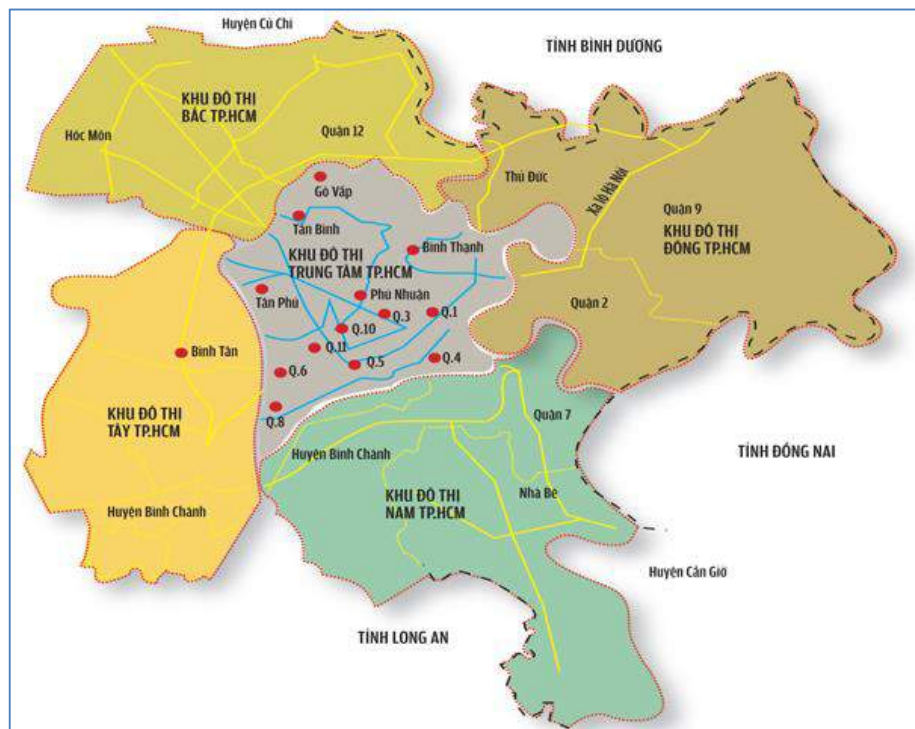


Hình 3-33: Quan hệ diện tích và cao độ khu vực vùng trũng còn lại có tương tác với triều hạ lưu sông SG-ĐN (chưa tính khu vực Cần Giờ)

- ***Đánh giá tác động của việc phát triển Khu Nam Sài Gòn***

Để đánh giá chi tiết sự thay đổi cơ cấu sử dụng đất của một khu vực đến mực nước trên sông chính. Nghiên cứu lựa chọn khu vực Nam Sài Gòn bao gồm ranh giới hành chính quận 7, huyện Nhà Bè và một phần huyện Bình Chánh với tổng diện tích khu vực này khoảng 17.500 ha được đưa vào tính toán (Hình 3-34). Lý do lựa chọn khu vực này vì đây là vùng có sự chuyển biến mạnh về sử dụng đất trong những năm gần đây do việc đô thị hóa. Diễn hình trong khu vực này là sự phát triển của khu đô thị Nam Sài Gòn với tổng diện tích khoảng 2.975 ha bao gồm các khu hợp đa chức năng: trung tâm hành chính, thương mại, dịch vụ, công nghiệp khoa học, văn hoá, giáo dục, nghỉ ngơi, giải trí.

Cho đến năm 2015, cơ cấu sử dụng đất của khu Nam Sài Gòn [58] đã thay đổi, trong tổng số 17.500 ha của cả khu vực (Hình 3-35), diện tích đất nông nghiệp khoảng 8.160 ha chiếm 46,5%, diện tích đất ở khoảng 3.900 ha chiếm 22,4%, diện tích đất cơ sở hạ tầng khoảng 3.670 ha chiếm 21,0%, diện tích đất mặt nước còn lại khoảng 1.780 ha chiếm 10,2% (Bảng 3-3). Trong các loại đất trên, chỉ còn diện tích đất mặt nước là có thể tham gia vào điều hòa dòng triều của vùng hạ lưu sông SG-ĐN và diện tích này chiếm tỷ trọng không lớn.



**Hình 3-34: Khu vực Nam Sài Gòn thuộc Thành Phố Hồ Chí Minh**



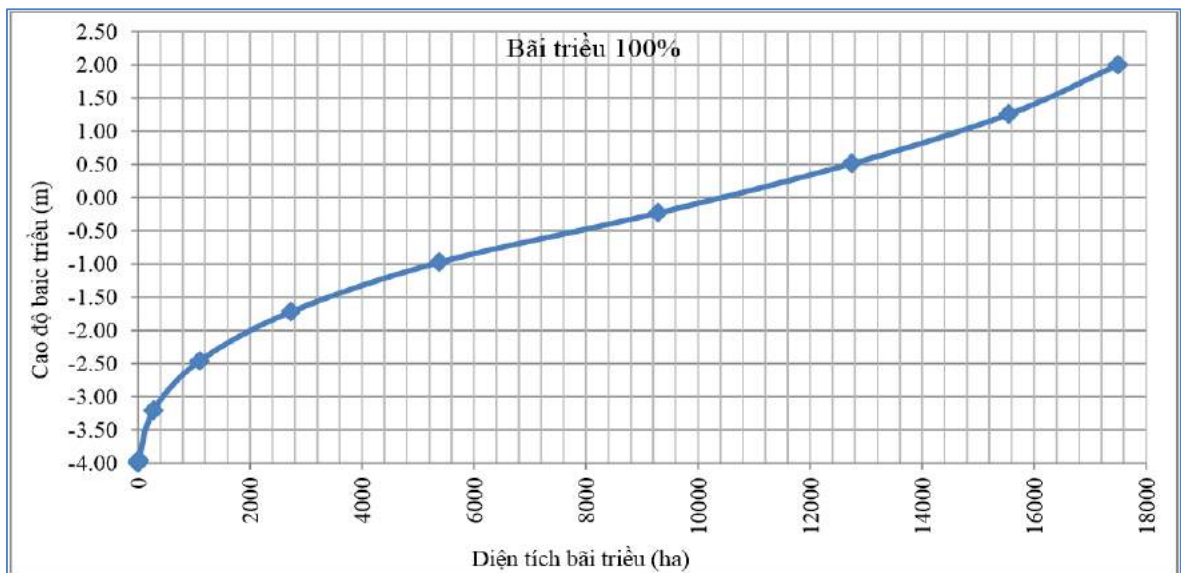
Theo bản đồ vệ tinh chụp năm 1986 và năm 2015, việc thay đổi cơ cấu sử dụng đất qua 30 năm phát triển đã có sự chuyển biến mạnh mẽ (Hình 3-36). Điều này sẽ dẫn đến sự thay đổi về dòng chảy trên các sông, dòng chảy qua các bãi triều thay đổi làm dâng mực nước trên sông chính.



Năm 1986

Năm 2015

*Hình 3-36: Ảnh vệ tinh Khu vực Nam Sài Gòn năm 1986 và năm 2015*



*Hình 3-37: Quan hệ cao độ - diện tích các bãi triều khu vực Nam Sài Gòn*

Để đánh giá tác động của việc thu hẹp các bãi triều tại khu vực Nam Sài Gòn đến mực nước và lưu lượng trong khu vực, toàn bộ địa hình khu Nam Sài Gòn được đưa vào tính toán trong mô hình với các giả thiết trên mức độ phần trăm bãi triều thu hẹp



(Bảng 3-4). Các giả thiết diện tích bãi triều giảm từ 100% đến khi không còn các bãi này (trong tính toán đã sử dụng giảm 20% cho mỗi lần mô phỏng). Quy mô về các mặt cắt kênh rạch trong khu vực không thay đổi. Quan hệ diện tích bãi triều và cao trình bãi triều trong tính toán (Hình 3-37).

*Bảng 3-4: Các kịch bản tính toán cho hạ lưu sông SG-ĐN*

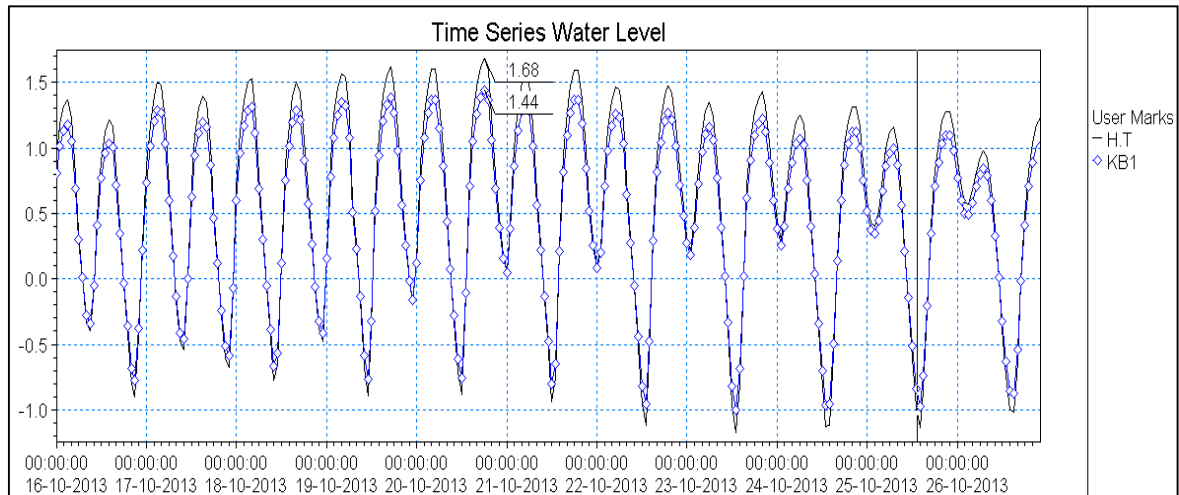
| Stt | Kịch bản | Nội dung kịch bản                                                                                                                                       |
|-----|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | HT       | Điều kiện khí tượng, thủy văn tháng 10 năm 2013 vào thời kỳ triều cao. Hiện trạng sử dụng đất và các công trình khai thác nguồn nước tính đến năm 2015. |
| 2   | KB1      | Như H.T, nhưng các khu đất nông nghiệp hiện nay tham gia vào điều hoà dòng triều                                                                        |
| 3   | KB2      | Như H.T, nhưng các khu đất xây dựng hiện nay tham gia vào điều hoà dòng triều                                                                           |
| 4   | KB3      | Như H.T, nhưng các khu đất nông nghiệp và đất xây dựng hiện nay tham gia vào điều hoà dòng triều                                                        |
| 5   | KB4      | Như H.T, nhưng các bãi triều không còn (ngoại trừ khu vực Cần Giờ)                                                                                      |
| 6   | KB5      | Như H.T, nhưng các bãi triều không còn (kể cả khu vực Cần Giờ)                                                                                          |
| 7   | KB6      | Như H.T, nhưng tất cả diện tích của Khu Nam Sài Gòn tham gia vào điều tiết dòng triều (100%)                                                            |
| 8   | KB7      | Như H.T, nhưng tất cả diện tích của Khu Nam Sài Gòn tham gia vào điều tiết dòng triều (80%)                                                             |
| 9   | KB8      | Như H.T, nhưng tất cả diện tích của Khu Nam Sài Gòn tham gia vào điều tiết dòng triều (60%)                                                             |
| 10  | KB9      | Như H.T, nhưng tất cả diện tích của Khu Nam Sài Gòn tham gia vào điều tiết dòng triều (40%)                                                             |
| 11  | KB10     | Như H.T, nhưng tất cả diện tích của Khu Nam Sài Gòn tham gia vào điều tiết dòng triều (20%)                                                             |

### **3.3.2. Tác động của các khu sản xuất nông nghiệp thuộc hạ lưu sông SG-ĐN**

Theo kết quả tính toán, việc phát triển sản xuất nông nghiệp đến nay đã làm mực nước lớn nhất trên sông gia tăng (Hình 3-38). Tại Bến Lức, mực nước lớn nhất gia tăng thêm 28 cm, tại Thủ Dầu Một gia tăng thêm 36 cm. Mực nước tại Thủ Dầu Một gia tăng mạnh do việc xây dựng đê bao bảo vệ sản xuất, đặc biệt là khu vực Bờ Hữu



sông Sài Gòn và An Sơn Lái Thiêu. Mức nước lớn nhất tại Phú An cũng gia tăng thêm 24 cm (Bảng 3-5).



Hình 3-38: Mức nước tại Phú An khi chưa (KB1) và có (HT) các khu nông nghiệp

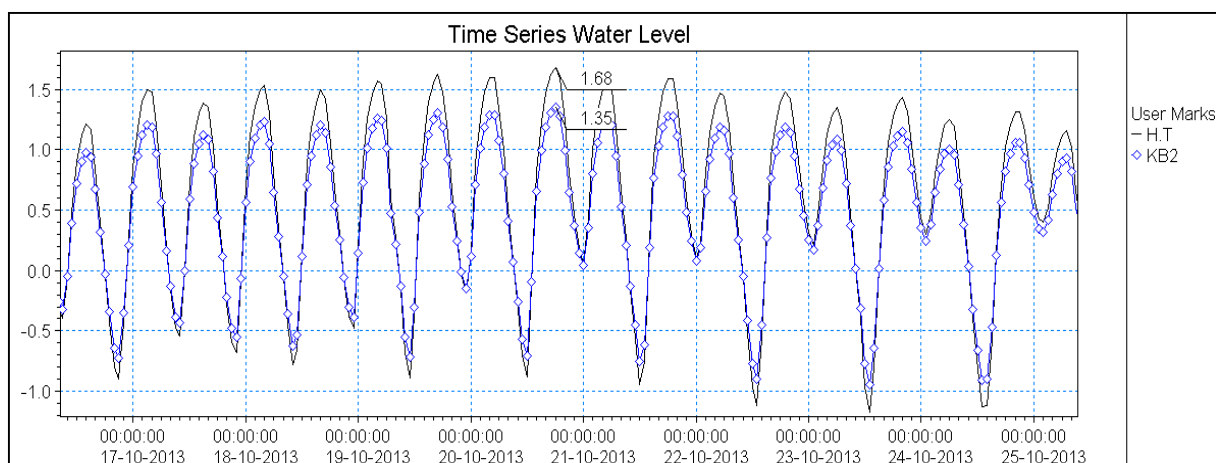
Bảng 3-5: Tác động của các khu nông nghiệp đến mức nước lớn nhất tại các vị trí

| Trạm         | HT(m) | KB1(m) | Chênh lệch (m) |
|--------------|-------|--------|----------------|
| Cửa Soài Rạp | 1,68  | 1,68   | 0,00           |
| Nhà Bè       | 1,65  | 1,42   | 0,23           |
| Phú An       | 1,68  | 1,44   | 0,24           |
| Thủ Dầu Một  | 1,48  | 1,12   | 0,36           |
| Biên Hòa     | 1,88  | 1,50   | 0,38           |
| Bến Lức      | 1,53  | 1,25   | 0,28           |

### 3.3.3. Tác động của các khu đất xây dựng thuộc hạ lưu sông SG-ĐN

Tác động của việc gia tăng đất xây dựng cũng là nguyên nhân làm gia tăng mức nước lớn nhất trên sông (Hình 3-39). Điển hình là tại Biên Hòa, nơi chịu ảnh hưởng của lũ trên sông Đồng Nai, mức nước lớn nhất gia tăng thêm 22 cm so với khi không có đất xây dựng. Tại Phú An, mức nước lớn nhất gia tăng thêm 33 cm, tại Thủ Dầu Một gia tăng thêm 15 cm (Bảng 3-6).

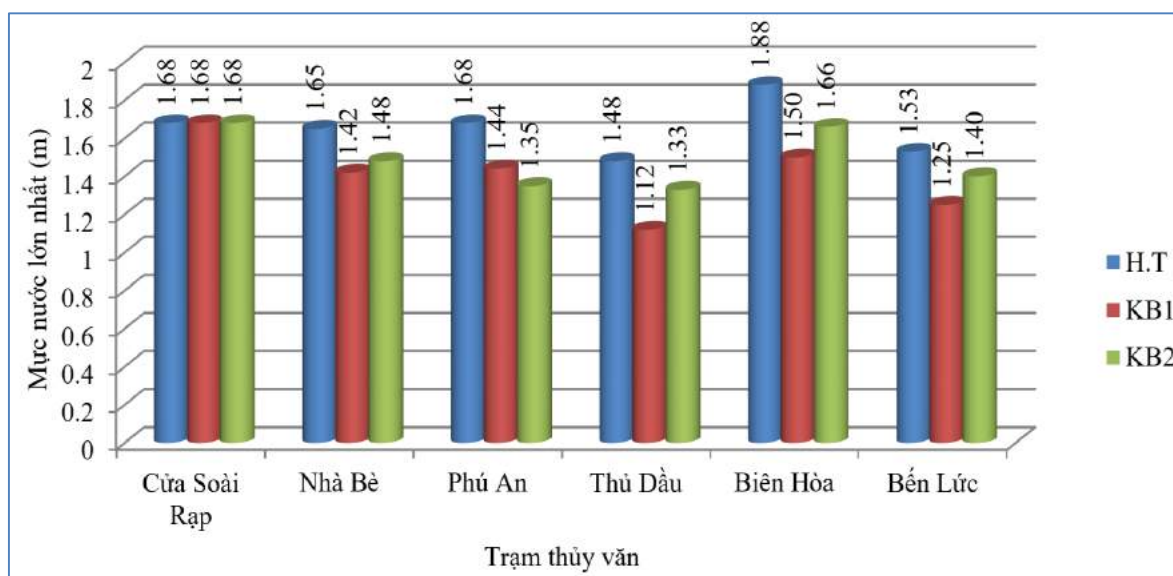
Như vậy, tại những khu vực nào có tác động của con người làm thu hẹp bãi triều sẽ làm gia tăng mức nước lớn nhất trong sông (Hình 3-40). Nếu tính toán theo độ gia tăng mức nước lớn nhất trung bình tại các vị trí trên sông, tác động của các khu đất xây dựng cho đến nay đã làm gia tăng 17 cm, tác động của các khu đất nông nghiệp đã làm gia tăng 25 cm.



Hình 3-39: Mức nước tại Phú An khi chưa (KB2) và có (HT) các khu đất xây dựng

Bảng 3-6: Tác động của khu đất xây dựng đến mực nước lớn nhất các vị trí

| Trạm         | H.T(m) | KB2(m) | Chênh lệch(m) |
|--------------|--------|--------|---------------|
| Cửa Soài Rạp | 1,68   | 1,68   | 0,00          |
| Nhà Bè       | 1,65   | 1,48   | 0,17          |
| Phú An       | 1,68   | 1,35   | 0,33          |
| Thủ Dầu Một  | 1,48   | 1,33   | 0,15          |
| Biên Hòa     | 1,88   | 1,66   | 0,22          |
| Bến Lức      | 1,53   | 1,40   | 0,13          |



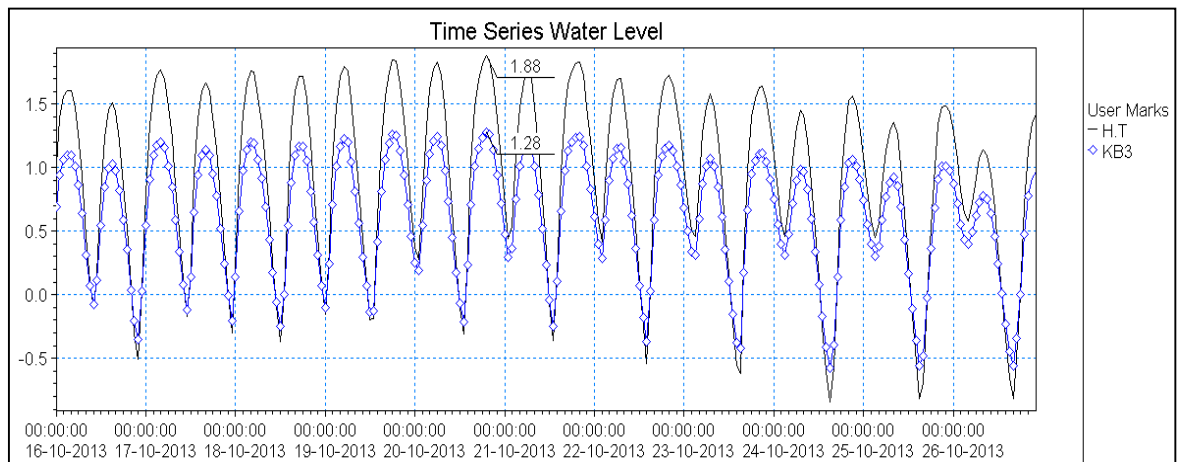
Hình 3-40: Mức nước lớn nhất hiện trạng (HT) và khi xét đến tác động của đất nông nghiệp (KB1) và xây dựng (KB2)

### 3.3.4. Tác động tích hợp của đất xây dựng và nông nghiệp hạ lưu sông SG-ĐN

Theo kết quả tính toán tích hợp tác động của các loại hình sử dụng đất đến mực nước trên sông, tại Biên Hòa mực nước lớn nhất gia tăng lên 60 cm (Hình 3-41). Tại Phú An, mực nước lớn nhất gia tăng 57 cm, tại Thủ Dầu Một gia tăng 51 cm, Bến Lức gia tăng 41 cm so với khi chưa phát triển các loại hình sử dụng đất (Bảng 3-7).

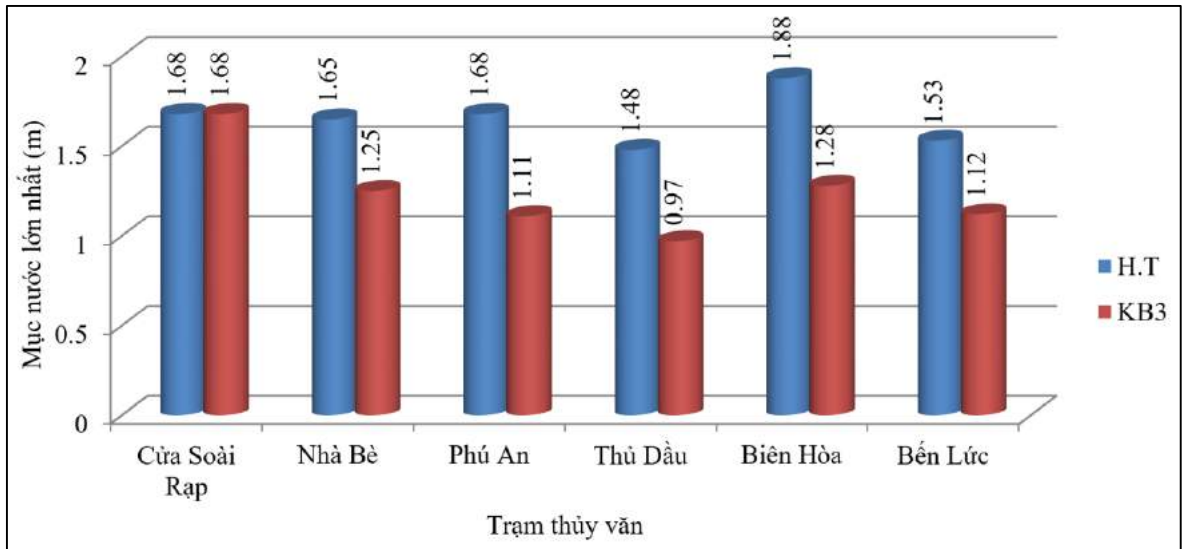
*Bảng 3-7: Tác động của thay đổi cơ cấu sử dụng đất đến mực nước lớn nhất*

| Trạm         | HT(m) | KB3(m) | Chênh lệch(m) |
|--------------|-------|--------|---------------|
| Cửa Soài Rạp | 1,68  | 1,68   | 0,00          |
| Nhà Bè       | 1,65  | 1,25   | 0,40          |
| Phú An       | 1,68  | 1,11   | 0,57          |
| Thủ Dầu Một  | 1,48  | 0,97   | 0,51          |
| Biên Hòa     | 1,88  | 1,28   | 0,60          |
| Bến Lức      | 1,53  | 1,12   | 0,41          |



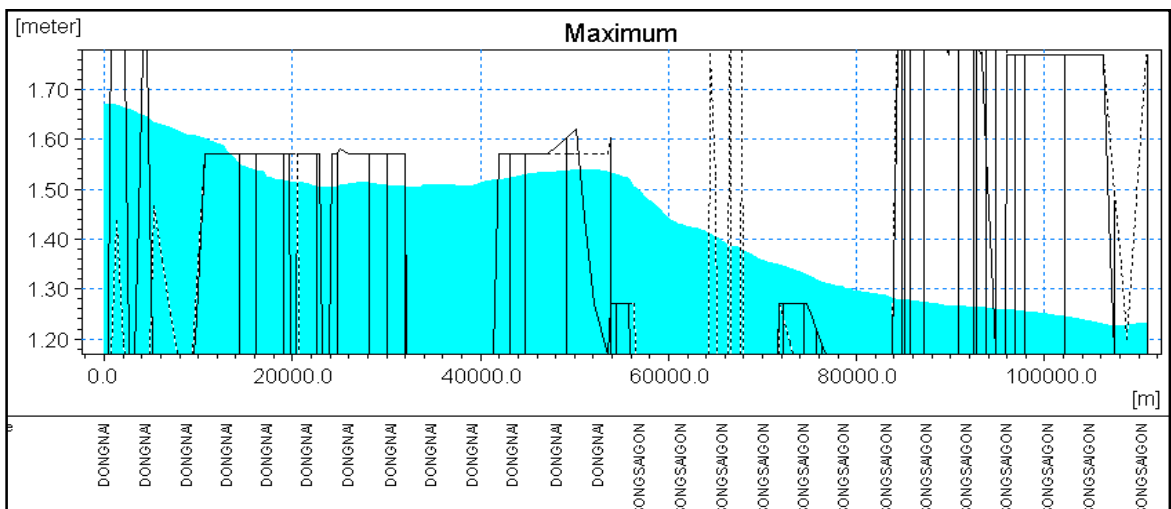
*Hình 3-41: Mực nước tại Biên Hòa có xét đến tác động thay đổi cơ cấu sử dụng đất*

Như vậy, việc thu hẹp các bãi triều khu vực đã có tác động lớn đến mực nước trên sông. Nếu tính toán theo độ gia tăng mực nước trung bình lớn nhất trên sông, tác động của việc thu hẹp các bãi triều trong khu vực cho đến nay đã làm gia tăng 42 cm (Hình 3-42).



*Hình 3-42: Mức nước lớn nhất hiện trạng (HT) và khi chưa thu hẹp bãi triều (KB3)*

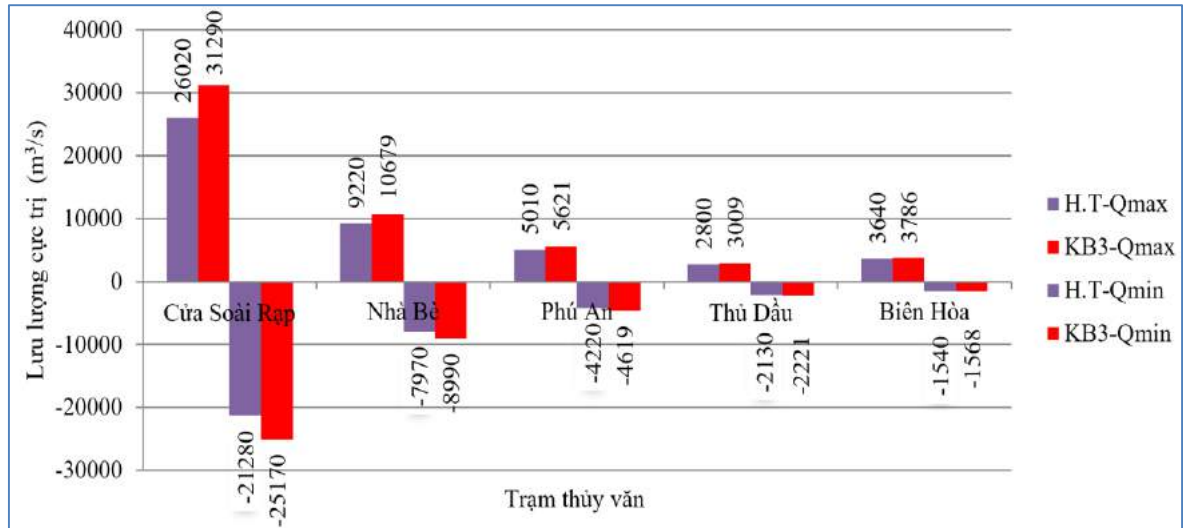
Dựa vào đường mực nước dọc sông tính toán từ cửa Soài Ráp đến Thủ Dầu Một, khi chưa thu hẹp bãi triều trong khu vực (Hình 3-43), vùng hạ lưu sông SG-ĐN như một hồ chứa với biên ngoài biển, nước biển theo triều tràn vào trong sông, các khu vực trũng thấp có tác dụng cất triều làm cho mực nước lớn nhất tại Nhà Bè, Phú An và đặc biệt là Thủ Dầu Một thấp hơn mực nước cửa sông. Tuy nhiên, cho tới nay, do việc phát triển của các loại hình sử dụng đất đã làm cho các bãi triều giảm đi gây mực nước tăng cao.



*Hình 3-43: Đường mực nước lớn nhất khi chưa thu hẹp bãi triều*

Lưu lượng tại các vị trí trên sông Sài Gòn và Đồng Nai cũng giảm đáng kể khi so sánh giữa trường hợp hiện trạng và khi chưa có các khu vực sản xuất nông nghiệp và

xây dựng. Nếu tính cả tác động của khu đất nông nghiệp và xây dựng làm giảm diện tích bãi triều thì lưu lượng lớn nhất tại cửa Soài Rạp đã giảm đi 83% và lưu lượng nhỏ nhất đã giảm đi 85% (Hình 3-44).



Hình 3-44: Lưu lượng hiện trạng (H.T) và chưa thu hẹp bãi triều (KB3)

### 3.3.5. Dự báo gia tăng mực nước khi mất các bãi triều trên hạ lưu sông SG-ĐN

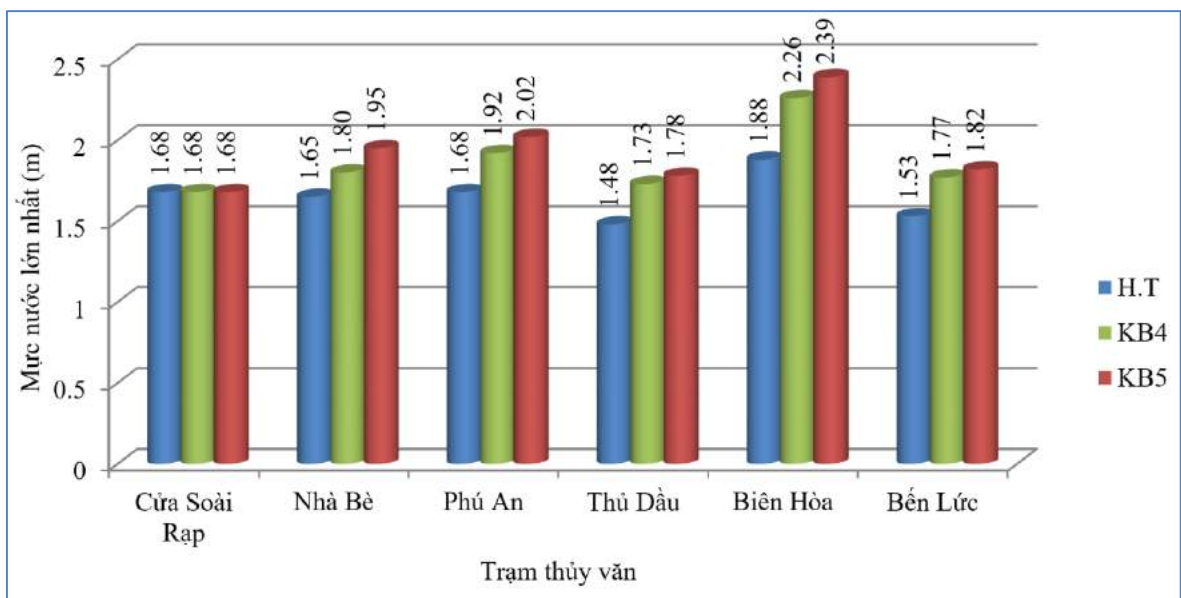
Theo kết quả tính toán, khi các bãi triều không còn (ngoại trừ khu vực Cần Giờ) (KB4), mực nước trên sông chính có độ gia tăng trung bình 19 cm so với hiện trạng hiện nay. Biên Hòa vẫn là nơi có mực nước tăng cao nhất (tăng 38 cm). Phú An cũng là nơi có mực nước tăng đáng kể (tăng 24 cm) so với hiện nay.

Một giả thiết các bãi triều hiện nay không còn trong tương lai kể cả khu vực Cần Giờ (KB5), khi dòng chảy chỉ trong các sông, rạch thì mực nước trên sông chính có độ gia tăng trung bình 25 cm so với hiện nay. Biên Hòa vẫn là nơi có mực nước tăng cao nhất (tăng 51 cm), Phú An cũng là nơi có mực nước tăng đáng kể (tăng 34 cm) (Bảng 3-8). Như vậy có thể thấy ở khu vực hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN nếu tính toán riêng theo tác động của con người với điều kiện thủy văn hiện tại, mực nước lớn nhất tại TPHCM có thể tăng lên đến cao trình +2,00 m (Hình 3-45). Mực nước này có thể thấp hơn nếu sự can thiệp của con người ít đi hoặc có thể giảm nếu có những biện pháp khắc phục bằng việc khôi phục lại những bãi triều.



*Bảng 3-8: Kết quả kịch bản nghiên cứu về ảnh hưởng của các khu trũng còn lại đến mực nước lớn nhất các vị trí*

| Trạm             | H.T  | KB4  | (KB4)-(H.T) | KB5  | (KB5)-(H.T) | (KB5)-(KB4) |
|------------------|------|------|-------------|------|-------------|-------------|
| Cửa Soài Rạp (m) | 1,68 | 1,68 | 0,00        | 1,68 | 0,00        | 0,00        |
| Nhà Bè (m)       | 1,65 | 1,80 | 0,15        | 1,95 | 0,30        | 0,15        |
| Phú An (m)       | 1,68 | 1,92 | 0,24        | 2,02 | 0,34        | 0,10        |
| Thủ Dầu Một (m)  | 1,48 | 1,73 | 0,25        | 1,78 | 0,30        | 0,05        |
| Biên Hòa (m)     | 1,88 | 2,26 | 0,38        | 2,39 | 0,51        | 0,13        |
| Bến Lức(m)       | 1,53 | 1,77 | 0,24        | 1,82 | 0,29        | 0,05        |



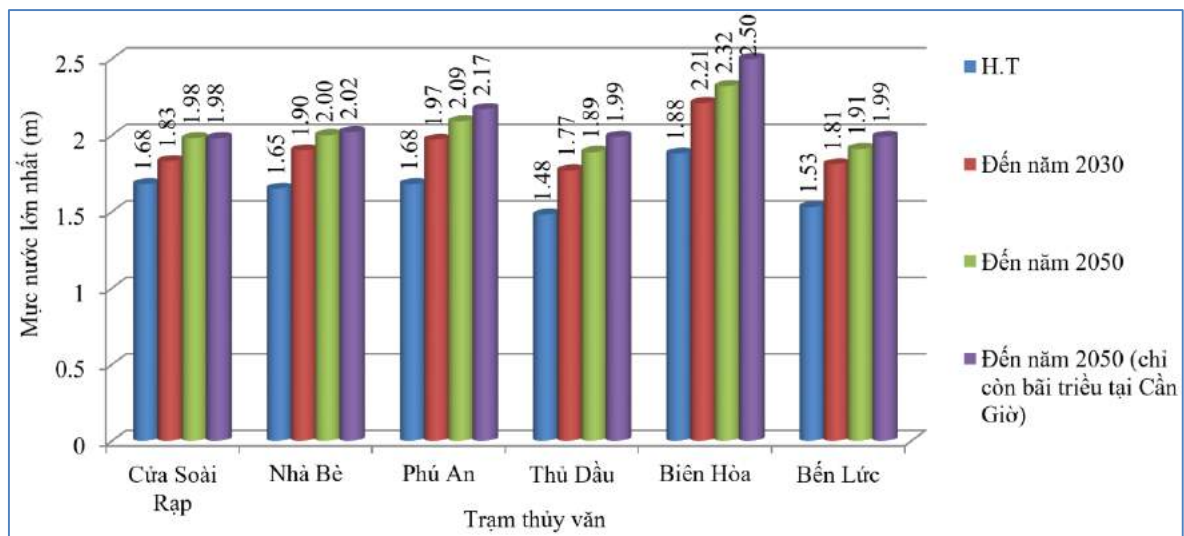
*Hình 3-45: Dự báo độ gia tăng mực nước trên sông khi không còn các khu trũng*

### 3.3.6. Dự báo gia tăng mực nước khi xét đến biến đổi khí hậu

- **Dự báo gia tăng mực nước**

Ngoài tác động do con người, tác động của biến đổi khí hậu cũng sẽ làm gia tăng mực nước lớn nhất trên sông. Theo kịch bản RPC4.5 của kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam, gia tăng lượng mưa vào năm 2030 và 2050 tương ứng có thể lên đến 11,4% và 22,6% và giá trị mực nước biển dâng 12 và 22 cm [64]. Kết quả tính toán cho thấy, độ gia tăng mực nước lớn nhất các vị trí đến năm 2030 là 13 cm và đến năm 2050 đạt 25 cm so với khi chưa xét đến biến đổi khí hậu. Như vậy, nếu

xét cả biến đổi khí hậu và thu hẹp các bãi triều thì mực nước lớn nhất tại Phú An có thể lên tới cao trình +2,17 m vào năm 2050 (Hình 3-46), đây là mực nước rất dễ xảy ra trong thực tế. Nếu trường hợp xảy ra như vậy, việc ngập các khu vực sẽ không hề nhỏ.



Hình 3-46: Dự báo mực nước các sông đến năm 2030 và 2050

- **Các giải pháp giảm thiểu**

Có nhiều giải pháp cho việc kiểm soát ngập trong khu vực, có thể lên đề bao và xây dựng công bảo vệ khi mực nước dâng cao, có thể nâng cao cốt nền xây dựng để tránh việc ngập. Đối với đề bao hiện nay thường kết hợp với đường giao thông, việc nâng cao cao trình đề kéo theo những kết nối về cơ sở hạ tầng xung quanh cũng phải thay đổi. Việc nâng cao cốt nền cũng rất khó khăn khi đất đã được xây dựng công trình, đặc biệt là công trình nhà ở. Trong khi đó, mực nước sông ngày càng tăng do nhu cầu về chuyển đổi cơ cấu sử dụng đất. Đất mặt nước, khu trũng sẽ thu hẹp dần khi tốc độ thu hẹp bãi triều như hiện nay. Rõ ràng nếu không có biện pháp can thiệp, mực nước tại Phú An trong giai đoạn tới (giai đoạn đến năm 2030) có thể lên tới +2,00 hoặc cao hơn. Lúc này, toàn bộ hệ thống giao thông, hệ thống thoát nước, đặc biệt là các khu vực dân cư có cao trình thấp bị ảnh hưởng nặng nề. Đã có một số giải pháp tổng thể nhằm giảm mực nước có thể kể đến như: (i) Giải pháp co hẹp cửa Soài Rạp bằng việc xây dựng đập ngăn một phần sông Soài Rạp làm giảm năng lượng triều được đề xuất bởi Nguyễn Tất Đắc cũng là một trong những giải pháp đáng bàn luận [65]; (ii) Giải pháp xây dựng tuyến đê biển Vũng Tàu – Gò Công nhằm kiểm soát mực nước cho

khu vực hạ lưu sông SG-ĐN cũng là một giải pháp tác động vào cửa sông để giảm mực nước lớn nhất trên sông [66]. Các nghiên cứu trên là giải pháp kỹ thuật tốt trong việc kiểm soát mực nước đỉnh triều, tuy nhiên tác động của các công trình lớn này đến môi trường sinh thái và kinh phí xây dựng cần được cân nhắc.

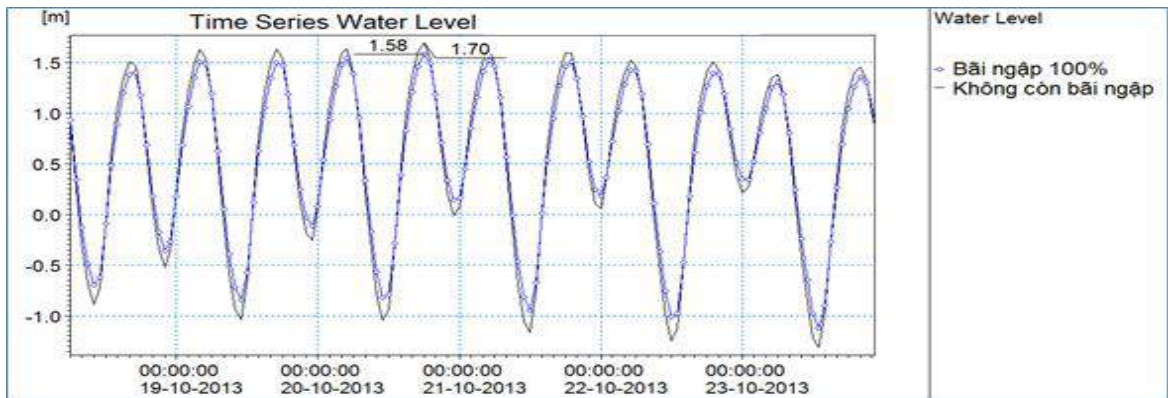
Giải pháp khôi phục lại các bãi triều đã bị thu hẹp trước đây cũng cần quan tâm, tuy nhiên các giải pháp khôi phục bãi triều hoặc đất ngập nước mới chỉ đề cập đến vấn đề sinh thái mà chưa xét đến việc tác động của chúng đến mực nước trên sông. Trên thế giới, giải pháp khôi phục lại các vùng đất ngập nước (wetland restoration) đã được áp dụng với mục đích cải thiện chất lượng nước, chất lượng đất, khôi phục hệ sinh thái cho động, thực vật (Công ước Ramsar [67]). Tại Việt Nam, việc khôi phục đất ngập nước cũng được WWF thực hiện tại Đồng Tháp Mười theo 2 giai đoạn (2007 - 2010 và 2013 - 2014), địa điểm lựa chọn cho khu vực nghiên cứu điển hình tại khu bảo tồn Láng Sen [68]. Như vậy, trong tương lai, việc khôi phục lại các bãi triều nhằm giảm mực nước lớn nhất trên sông cũng cần phải quan tâm hơn nữa vì các bãi triều có vai trò rất quan trọng đến chế độ thủy triều trên sông.

### **3.3.7. Tác động của việc phát triển Khu Nam Sài Gòn**

- ***Sự thay đổi về mực nước***

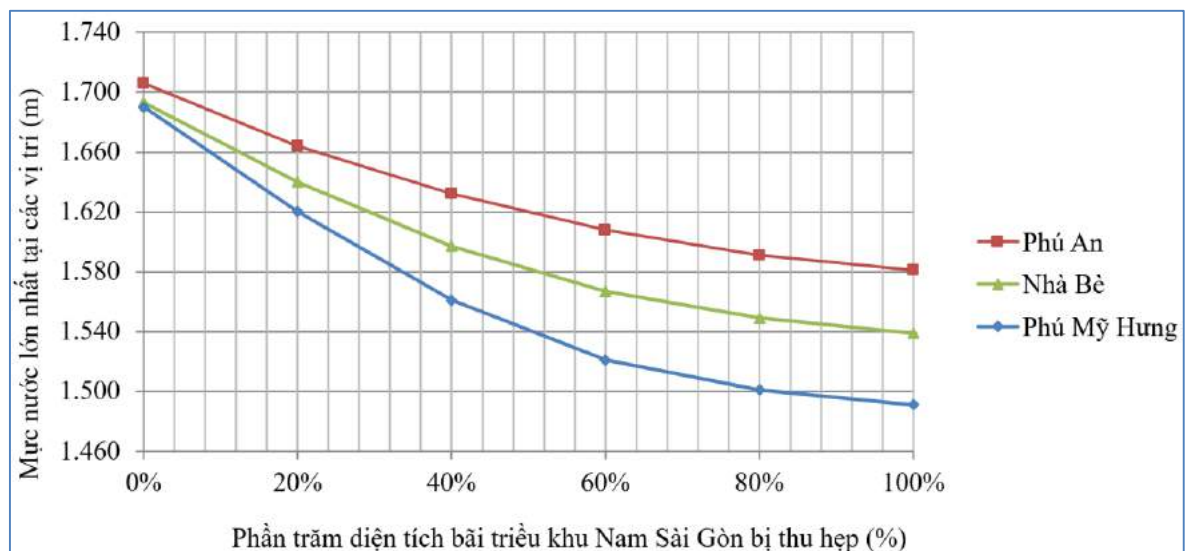
Theo kết quả tính toán mô hình với các tỷ lệ thay đổi về diện tích các bãi triều khác nhau, sự thay đổi về mực nước cũng giống như kết quả đã tính toán trong mô hình thủy lực thử nghiệm. Biên độ triều sẽ bị tăng lên khi diện tích các bãi triều giảm đi. Mực nước đỉnh triều tại Phú An tăng lên khoảng 12 cm (tăng từ cao trình +1,58 m lên cao trình +1,70 m) khi không còn các bãi triều trong Khu Nam Sài Gòn (Hình 3-47). Mực nước đỉnh triều tại Nhà Bè tăng lên khoảng 15 cm (tăng từ cao trình +1,54 m lên cao trình +1,69 m), mức độ tăng này cao hơn tại Phú An do khu vực Nam Sài Gòn có nhiều sông lớn (Cây Khô, Mương Chuối, Cần Giuộc, Sông Kinh...) liên thông với vị trí gần trạm thủy văn này. Mực nước đỉnh triều tại Phú Mỹ Hưng tăng lên khoảng 20 cm (tăng từ cao trình +1,49 m lên cao trình +1,69 m), so với độ gia tăng mực nước ngoài sông chính thì mức độ gia tăng này lớn hơn nhiều do khu vực này sẽ là nơi bị tác động chính của việc san lấp các bãi triều. Điều này chứng tỏ không gian

bãi triều trong Khu Nam Sài Gòn có tác động rất lớn đến mực nước lớn nhất trong khu vực.



Hình 3-47: Mực nước tại Phú An trong trường hợp khu Nam Sài Gòn không còn bãi triều và có bãi triều trên toàn diện tích

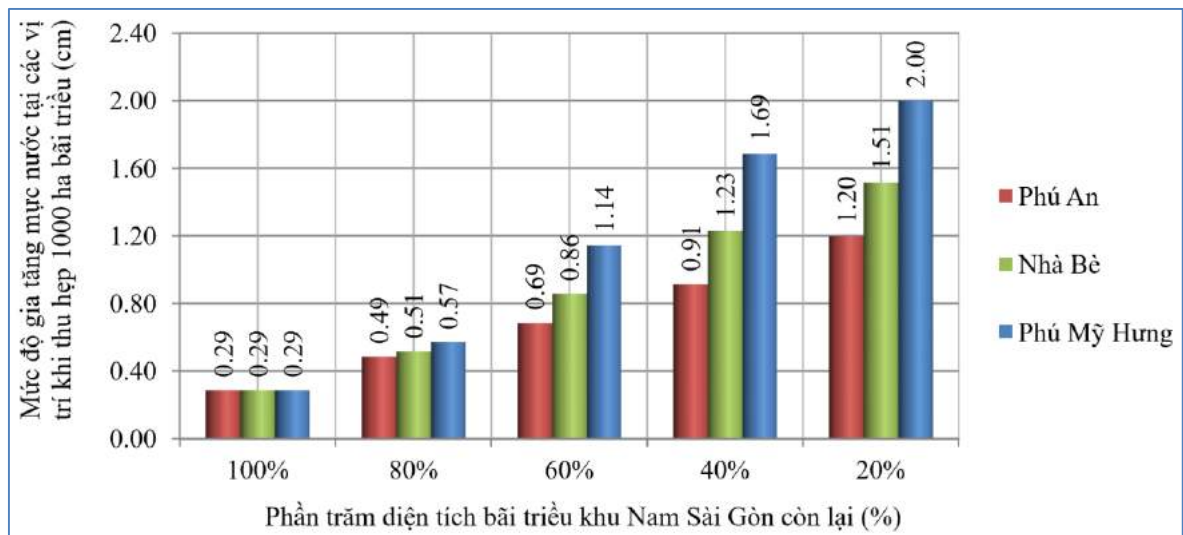
Theo kết quả tính toán trên phần trăm diện tích bãi triều của Khu Nam Sài Gòn bị suy giảm trong các trường hợp tính, khi diện tích bãi triều còn lớn độ dốc của đường quan hệ nhỏ. Tuy nhiên, khi diện tích bãi triều thu hẹp dần thì tác động này rất lớn (Hình 3-48).



Hình 3-48: Quan hệ mực nước đỉnh triều lớn nhất tại các vị trí và phần trăm diện tích bãi triều của khu Nam Sài Gòn

Đề rõ hơn trong việc đánh giá diện tích bãi triều của khu Nam Sài Gòn tác động đến mực nước đỉnh triều lớn nhất, độ gia tăng mực nước đỉnh triều tại các vị trí trong từng giai đoạn được phân tích. Có thể thấy rằng, khi diện tích bãi triều suy giảm 10% (giảm

1.750 ha, từ 17.500 ha còn 15.750 ha), mực nước tại các vị trí sẽ chỉ gia tăng 0,29 cm nếu san lấp 1000 ha của khu Nam Sài Gòn. Tuy nhiên, mức độ gia tăng này sẽ lớn dần khi diện tích bãi triều càng thu hẹp dần. Khi xét đến giai đoạn thu hẹp bãi trong giai đoạn từ 60% còn 40% diện tích bãi triều thì mức độ gia tăng này lớn hơn giai đoạn trước. Tại Phú An gia tăng khoảng 0,69 cm, Nhà Bè gia tăng khoảng 0,86 cm và Phú Mỹ Hưng gia tăng khoảng 1,14 cm nếu san lấp 1.000 ha của khu Nam Sài Gòn. Khi xét đến giai đoạn thu hẹp bãi còn 20% bãi triều cuối cùng thì mức độ gia tăng này lớn hơn rất nhiều. Tại Phú An gia tăng khoảng 1,20 cm, Nhà Bè gia tăng khoảng 1,51 cm và Phú Mỹ Hưng gia tăng khoảng 2,00 cm nếu san lấp 1000 ha của khu Nam Sài Gòn (Hình 3-49).



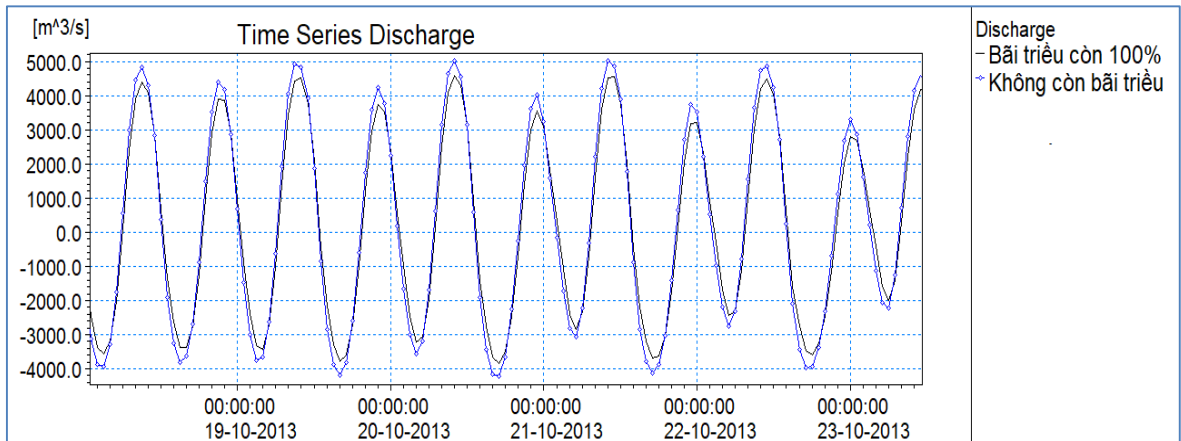
*Hình 3-49: Quan hệ giữa độ gia tăng mực nước đỉnh triều lớn nhất tại các vị trí và phần trăm diện tích bãi triều còn lại của khu Nam Sài Gòn*

- **Sự thay đổi về lưu lượng**

Tác động của việc thay đổi diện tích bãi triều của khu Nam Sài Gòn cũng tác động đáng kể đến lưu lượng trên sông. Xét tại Phú An, lưu lượng có xu hướng gia tăng khi diện tích bãi triều tại khu Nam Sài Gòn thu hẹp lại (Hình 3-50). Điều này cũng giống như tính toán trong mô hình thử nghiệm khi bãi triều nằm ở hạ lưu giảm thì lưu lượng ở thượng lưu bãi triều có xu hướng tăng lên. Lưu lượng tại Phú An sẽ gia tăng từ 4.594 m<sup>3</sup>/s đến 5.260 m<sup>3</sup>/s (Hình 3-50) mức độ gia tăng khoảng 14,5% so với khi

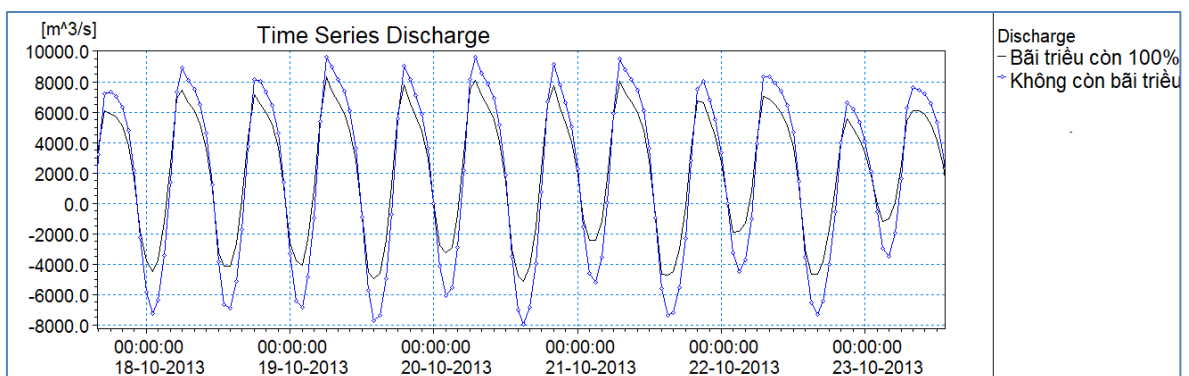


chưa thu hẹp bãi triều. Như vậy, vận tốc trên sông Sài Gòn sẽ gia tăng khi diện tích bãi triều của khu Nam Sài Gòn thu hẹp.



*Hình 3-50: Quá trình lưu lượng tại Phú An trường hợp bãi triều còn 100% và khi không còn bãi triều*

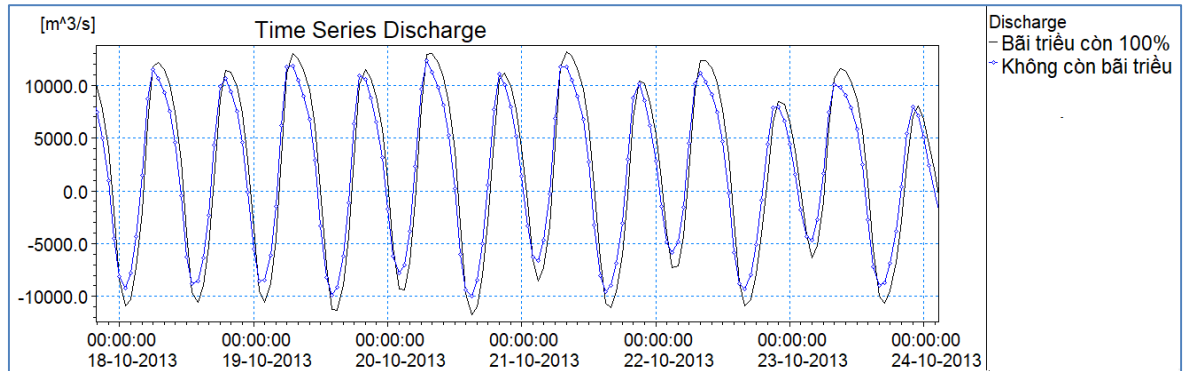
Xét tại Nhà Bè, lưu lượng cũng có xu hướng gia tăng khi diện tích bãi triều tại khu Nam Sài Gòn thu hẹp lại. Nguyên nhân là do các bãi triều tại khu Nam Sài Gòn chủ yếu liên thông với các sông lớn đổ ra hạ lưu của Nhà Bè. Lưu lượng tại Nhà Bè sẽ gia tăng từ 8.297 m<sup>3</sup>/s đến 10.040 m<sup>3</sup>/s (Hình 3-51) mức độ gia tăng khoảng 21,0% so với khi chưa thu hẹp bãi triều. Như vậy, vận tốc trên sông Đồng Nai đoạn từ Mương Chuối đến Mũi Đèn Đỏ sẽ bị gia tăng khi diện tích bãi triều của khu Nam Sài Gòn suy giảm.



*Hình 3-51: Quá trình lưu lượng tại Nhà Bè trường hợp bãi triều còn 100% và khi không còn bãi triều*

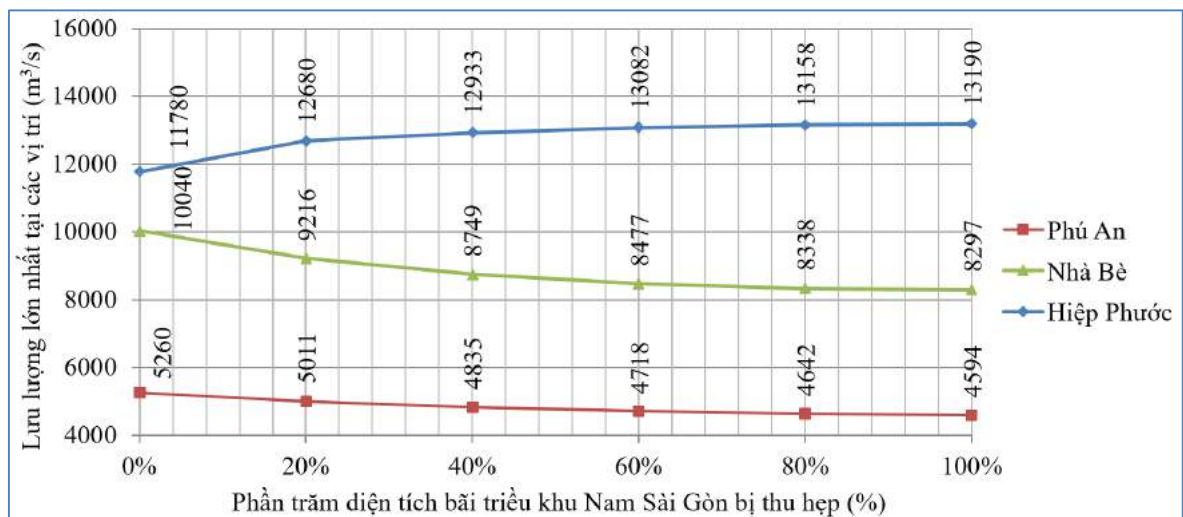
Xét tại Hiệp Phước, lưu lượng lại có xu hướng giảm đi khi diện tích bãi triều tại khu Nam Sài Gòn thu hẹp. Nguyên nhân là do các bãi triều tại khu Nam Sài Gòn chủ yếu

liên thông với các sông lớn đổ ra khu vực thượng lưu của Hiệp Phước. Lưu lượng tại Hiệp Phước sẽ giảm từ 13.190 m<sup>3</sup>/s còn 11.780 m<sup>3</sup>/s (Hình 3-52), mức độ giảm khoảng 10,7% so với khi chưa thu hẹp bãi triều.



Hình 3-52: Quá trình lưu lượng tại Hiệp Phước trường hợp bãi triều còn 100% và khi không còn bãi triều

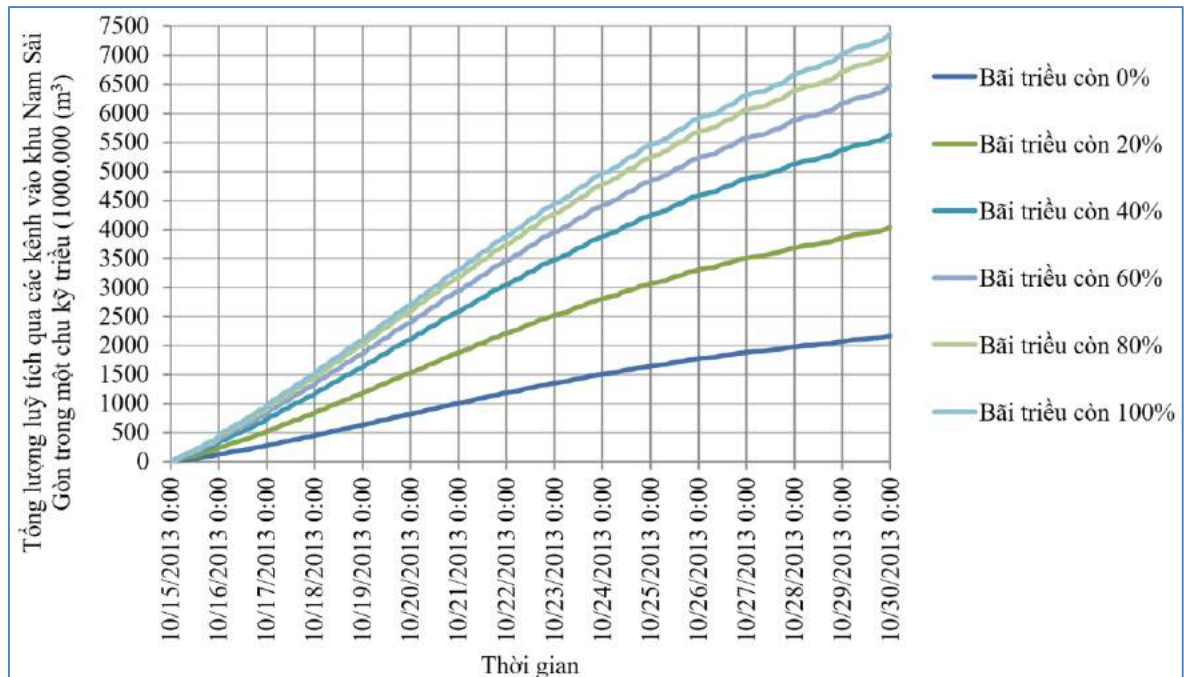
Theo kết quả tính toán, độ dốc của các đường quan hệ của lưu lượng lớn nhất với phần trăm diện tích bãi triều cũng có những thay đổi. Khi diện tích bãi còn nhiều, độ dốc của việc thay đổi lưu lượng còn ít, khi diện tích bãi còn ít, độ dốc của việc thay đổi lưu lượng sẽ lớn hơn rất nhiều (Hình 3-53).



Hình 3-53: Lưu lượng lớn nhất tại các vị trí trong các trường hợp bãi triều suy giảm diện tích

Theo kết quả tính toán tổng lượng vào ra qua các kênh rạch nối với sông chính của khu Nam Sài Gòn, tổng lượng trong một chu kỳ triều có thể lên tới 7,24 tỷ m<sup>3</sup>. Khi bãi triều không còn, tổng lượng vào ra chỉ còn lại khoảng 2,17 tỷ m<sup>3</sup> trong một chu

kỳ triều, còn khoảng 30% khi so sánh với trường hợp các bãi triều chưa bị thu hẹp (Hình 3-54). Theo kết quả tính toán, khi phần trăm diện tích bãi triều còn ít thì tác động giảm lưu lượng qua bãi triều càng lớn và nó sẽ tác động nhiều hơn đến lưu lượng và mực nước trên sông.



Hình 3-54: Tổng lượng qua các kênh rạch vào khu Nam Sài Gòn trong một chu kỳ triều ứng với các trường hợp bãi triều suy giảm diện tích

### 3.3.8. Giải pháp giảm thiểu tác động của gia tăng mực nước đỉnh triều

Có nhiều giải pháp cho việc kiểm soát ngập trong khu vực, có thể lên đề bao và xây dựng công bảo vệ khi mực nước dâng cao, có thể nâng cao cốt nền xây dựng để tránh việc ngập. Đối với đề bao hiện nay thường kết hợp với đường giao thông, việc nâng cao cao trình đề kéo theo những kết nối về cơ sở hạ tầng xung quanh cũng phải thay đổi. Việc nâng cao cốt nền cũng rất khó khăn khi đất đã được xây dựng công trình, đặc biệt là công trình nhà ở. Trong khi đó, mực nước sông ngày càng tăng do nhu cầu về chuyển đổi cơ cấu sử dụng đất, đất mặt nước, khu trũng sẽ thu hẹp dần với tốc độ phát triển mặt bằng như hiện nay. Rõ ràng nếu không có biện pháp can thiệp, mực nước tại Phú An trong giai đoạn tới (giai đoạn đến năm 2030) có thể lên tới +2,00 hoặc cao hơn. Lúc này, toàn bộ hệ thống giao thông, hệ thống thoát nước, đặc biệt là các khu vực dân cư có cao trình thấp bị ảnh hưởng nặng nề. Để nghiên cứu làm giảm mực nước trong hệ thống một số giải pháp tổng hợp có thể lựa chọn. Giải pháp co

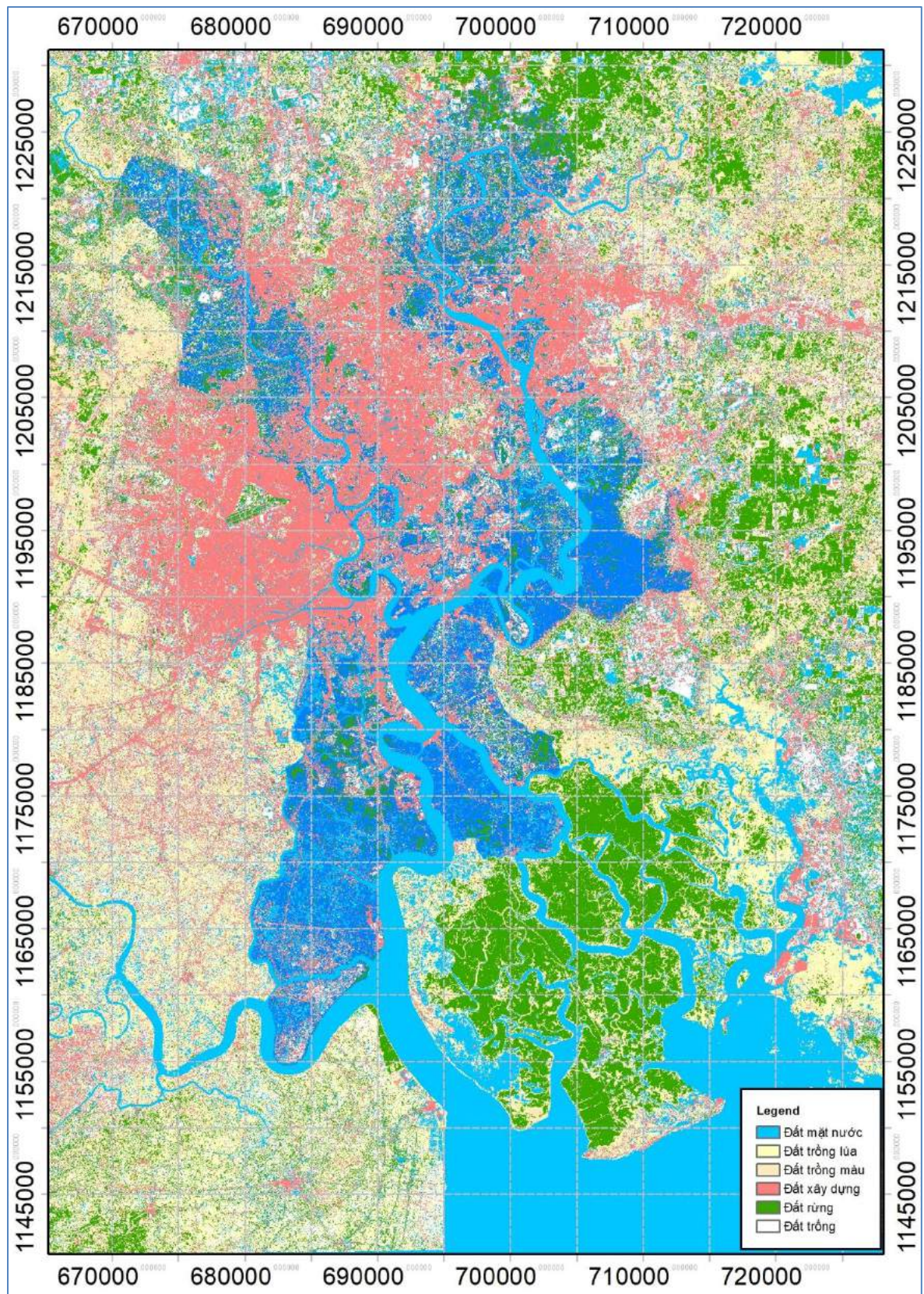
hẹp cửa Soài Rạp bằng việc xây dựng đập ngăn một phần sông Soài Rạp làm giảm năng lượng triều và làm co hẹp biên độ triều đã được đề xuất bởi GS.TS. Nguyễn Tất Đắc [69] là cũng là một trong những giải pháp đáng bàn luận. Giải pháp xây dựng tuyến đê biển Vũng Tàu – Gò Công [70] nhằm kiểm soát ngập cho khu vực nghiên cứu cũng là một giải pháp vào cửa sông để giảm năng lượng triều. Các nghiên cứu trên là giải pháp kỹ thuật tốt trong việc kiểm soát mực nước đỉnh triều, tuy nhiên tác động của các công trình lớn này đến môi trường sinh thái và kinh phí xây dựng cần được cân nhắc. Trong nghiên cứu này, luận án đề xuất giải pháp khôi phục lại các bãi triều đã bị thu hẹp trước đây. Đối với khu vực hạ du sông SG-ĐN, việc sử dụng các khu trũng thấp, các khu vực chưa sử dụng đất để hoàn trả lại các bãi triều tự nhiên về lâu dài cần quan tâm xem xét. Các khu vực sản xuất nông nghiệp nếu muốn sử dụng vào việc điều hoà dòng triều trong mùa triều cường chỉ cần mở các cống ngăn triều, khai thông các kênh rạch thì các khu vực này sẽ tham gia vào việc giảm đỉnh triều. Như vậy, các khu vực này có thể chỉ sử dụng canh tác trong mùa triều thấp và giảm mực nước đỉnh triều trong thời kỳ triều cao. Từ lý do trên, nghiên cứu này sẽ tính toán các trường hợp sử dụng thêm các khu nông nghiệp để giảm mực nước đỉnh triều ngoài sông bằng việc giả thiết có thêm diện tích các bãi triều so với hiện nay. Mặt khác, theo kết quả nghiên cứu, vị trí các bãi triều ở đâu thì trực tiếp tác động làm giảm mực nước tại vị trí đó là nhiều nhất. Để giảm mực nước đỉnh triều ven các sông Sài Gòn và Đồng Nai nơi thường xảy ra tình trạng ngập khi triều cao, nghiên cứu giả thiết sử dụng các khu đất nông nghiệp tại các khu vực này. Vì vậy, các bãi triều trong mô phỏng được phân bố ven sông Sài Gòn từ Thị Tính đến cửa sông Sài Gòn và trên sông Đồng Nai từ Biên Hoà đến Hiệp Phước với tổng diện tích 430km<sup>2</sup> (Hình 3-55). Các trường hợp tính toán được trình bày trong Bảng 3-9.

*Bảng 3-9: Các trường hợp giảm thiểu tác động của gia tăng mực nước đỉnh triều*

| Stt | Kịch bản | Nội dung kịch bản                                         |
|-----|----------|-----------------------------------------------------------|
| 1   | H.T      | Mặt bằng sử dụng đất tính vào năm 2015.                   |
| 2   | GP       | Như H.T, nhưng bổ sung thêm 430 km <sup>2</sup> bãi triều |

Theo kết quả tính toán, mực nước tại Phú An lúc này giảm từ cao trình +1,68m đến cao trình +1,50m (giảm 18cm), tại Thủ Dầu Một giảm từ cao trình +1,48m xuống còn +1,23m. Với cao trình mực nước lớn nhất như trên sẽ làm giảm ngập đáng kể cho vùng nghiên cứu. Các kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 3-10.





Hình 3-55: Khu vực đất nông nghiệp sử dụng làm bãi triều tự nhiên



*Bảng 3-10: Kết quả mực nước lớn nhất các vị trí ứng với các trường hợp tính*

| <b>Trạm</b>  | <b>GP (m)</b> | <b>H.T (m)</b> | <b>H.T-GP (m)</b> |
|--------------|---------------|----------------|-------------------|
| Vũng Tàu     | 1,34          | 1,34           | 1,34              |
| Cửa Soài Rạp | 1,68          | 1,68           | 1,68              |
| Nhà Bè       | 1,48          | 1,65           | 0,17              |
| Phú An       | 1,50          | 1,68           | 0,18              |
| Thủ Dầu      | 1,23          | 1,48           | 0,25              |
| Biên Hòa     | 1,55          | 1,88           | 0,33              |
| Bến Lức      | 1,50          | 1,53           | 0,03              |

Như vậy, giải pháp hoàn trả lại các khu trũng, làm giảm mực nước trên sông, đưa dòng chảy về theo tự nhiên trước đây trên phương diện kỹ thuật là có thể thực hiện được. Tuy nhiên, cần phải nghiên cứu dựa vào cả khía cạnh kinh tế và xã hội. Mặt khác, không chỉ áp dụng giải pháp này mà có thể kết hợp với giải pháp khác như tác động làm thu hẹp một phần cửa sông để giảm năng lượng triều từ biển, từ đó có thể hạ thấp mực nước đỉnh triều trên các sông.

### **3.4. KẾT QUẢ XÂY DỰNG TƯƠNG QUAN GIỮA DIỆN TÍCH VÀ VỊ TRÍ BÃI TRIỀU VỚI MỰC NƯỚC LỚN NHẤT TRÊN SÔNG**

#### **3.4.1. Luận giải các trường hợp tính toán**

Do hiện tượng mực nước lớn nhất trên sông SG-ĐN những năm gần đây luôn gia tăng và càng ngày càng gây ngập các khu vực có cao trình thấp nên nghiên cứu đã tập trung xác định tương quan giữa diện tích và vị trí bãi triều với mực nước lớn nhất trên sông. Để đánh giá cụ thể về ảnh hưởng của vị trí và diện tích bãi triều đến mực nước tại một vị trí, trong nghiên cứu này, lựa chọn vị trí tại trạm thủy văn Phú An, nơi đại diện cho việc gia tăng mực nước trong những năm gần đây gây ngập cho TPHCM để tính toán. Các bãi triều được bố trí từ trạm thủy văn Phú An đến Kinh Hàng với tổng khoảng cách là 45 km, trong đoạn này giả thiết cứ 5 km bố trí một bãi triều và các bãi triều được giả thiết với diện tích từ 1.000 đến 5.000 ha tại từng vị trí. Mô hình thủy lực mô phỏng từng bãi triều để xác định độ giảm mực nước đỉnh triều tại Phú An. Các khu vực dự kiến bãi triều và quan hệ cao độ diện tích bãi triều cách Phú An 15 km được trình bày trong Hình 3-56, Bảng 3-11 và chi tiết các bãi triều khác được trình bày trong phụ lục 5.



Hình 3-56: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 15 km

*Bảng 3-11: Quan hệ diện tích và cao độ bãi triều tại vị trí cách Phú An 15 km*

| Cao độ<br>(m) | Diện tích (ha) |      |      |      |      |
|---------------|----------------|------|------|------|------|
|               | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| 0.00          | 55             | 73   | 75   | 96   | 108  |
| 0.20          | 112            | 271  | 365  | 469  | 504  |
| 0.40          | 310            | 695  | 1023 | 1435 | 1869 |
| 0.60          | 654            | 1406 | 1970 | 2550 | 3139 |
| 0.80          | 807            | 1693 | 2438 | 3134 | 3844 |
| 1.00          | 902            | 1844 | 2701 | 3496 | 4268 |
| 1.20          | 938            | 1907 | 2825 | 3664 | 4464 |
| 1.40          | 966            | 1950 | 2902 | 3791 | 4622 |
| 1.60          | 985            | 1977 | 2951 | 3875 | 4734 |
| 1.80          | 997            | 1992 | 2976 | 3924 | 4818 |
| 2.00          | 1000           | 1998 | 2987 | 3950 | 4879 |
| Tổng          | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |

Một tập hợp mô phỏng được thực hiện trong nghiên cứu này bao gồm thay đổi cả về vị trí bãi triều và diện tích bãi triều để đưa ra bảng kết quả mực nước phụ thuộc vào diện tích bãi triều và khoảng cách từ vị trí bãi triều tới Phú An. Từ kết quả này có thể xây dựng hàm tương quan giữa độ giảm mực nước tại Phú An khi biết diện tích bãi và vị trí bãi triều. Tổng cộng 60 trường hợp tính (Bảng 3-12).

*Bảng 3-12: Các trường hợp tính xác định tương quan giữa kích thước và vị trí bãi triều với mực nước lớn nhất trên sông*

| Khoảng cách<br>tới Phú An (m) | Diện tích bãi triều |          |          |          |          |          |
|-------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                               | 0 ha                | 1.000 ha | 2.000 ha | 3.000 ha | 4.000 ha | 5.000 ha |
| 0                             | TH1                 | TH2      | TH3      | TH4      | TH5      | TH6      |
| 5000                          | TH7                 | TH8      | TH9      | TH10     | TH11     | TH12     |
| 10000                         | TH13                | TH14     | TH15     | TH16     | TH17     | TH18     |
| 15000                         | TH19                | TH20     | TH21     | TH22     | TH23     | TH24     |
| 20000                         | TH25                | TH26     | TH27     | TH28     | TH29     | TH30     |
| 25000                         | TH31                | TH32     | TH33     | TH34     | TH35     | TH36     |
| 30000                         | TH37                | TH38     | TH39     | TH40     | TH41     | TH42     |
| 35000                         | TH43                | TH44     | TH45     | TH46     | TH47     | TH48     |
| 40000                         | TH49                | TH50     | TH51     | TH52     | TH53     | TH54     |
| 45000                         | TH55                | TH56     | TH57     | TH58     | TH59     | TH60     |

### 3.4.2. Kết quả nghiên cứu phân tích

Từ kết quả tính toán của mô hình, đưa ra được các mực nước lớn nhất tại từng vị trí ứng với các trường hợp khác nhau, từ đó tính được độ giảm mực nước lớn nhất trên sông so với trường hợp hiện trạng (Bảng 3-13).

*Bảng 3-13: Kết quả các trường hợp tính xác định tương quan giữa kích thước và vị trí bãi triều với độ giảm mực nước lớn nhất trên sông*

| Khoảng cách<br>tới Phú An (m) | Diện tích bãi triều |          |          |          |          |          |
|-------------------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                               | 0 ha                | 1.000 ha | 2.000 ha | 3.000 ha | 4.000 ha | 5.000 ha |
| 0                             | 0,00                | 0,070    | 0,130    | 0,180    | 0,220    | 0,250    |
| 5000                          | 0,00                | 0,064    | 0,118    | 0,164    | 0,200    | 0,232    |
| 10000                         | 0,00                | 0,056    | 0,104    | 0,144    | 0,176    | 0,210    |
| 15000                         | 0,00                | 0,049    | 0,091    | 0,126    | 0,154    | 0,183    |
| 20000                         | 0,00                | 0,042    | 0,078    | 0,108    | 0,132    | 0,155    |
| 25000                         | 0,00                | 0,036    | 0,068    | 0,094    | 0,114    | 0,130    |
| 30000                         | 0,00                | 0,028    | 0,052    | 0,072    | 0,088    | 0,100    |
| 35000                         | 0,00                | 0,020    | 0,037    | 0,051    | 0,062    | 0,071    |
| 40000                         | 0,00                | 0,011    | 0,021    | 0,029    | 0,035    | 0,040    |
| 45000                         | 0,00                | 0,003    | 0,005    | 0,008    | 0,012    | 0,014    |

Khi thay đổi vị trí bãi triều, mức độ giảm mực nước lớn nhất ngay tại vị trí bãi triều, khi dịch chuyển bãi triều về hạ lưu (dịch chuyển từ Phú An ra cửa sông Sài Gòn về phía Nhà Bè và Kinh Hàng), mức độ giảm mực nước tại Phú An có xu hướng nhỏ đi. Dựa vào các số liệu tính toán trên, sử dụng phương pháp phân tích hồi quy - tương quan để xác định mối liên hệ giữa độ giảm mực nước tại Phú An với khoảng cách bãi triều theo từng diện tích cụ thể. Trên thực tế, có một số dạng liên hệ tương quan như: (i) tương quan tuyến tính (bao gồm liên hệ thuận, liên hệ nghịch); (ii) tương quan phi tuyến tính (bao gồm liên hệ bậc 2 (parabol), bậc 3..., liên hệ hypebol, liên hệ logarith...). Để xác định mối liên hệ tương quan của các số liệu trên, sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất (OLS - Ordinary Least Square) để xác định tổng bình phương các độ lệch giữa giá trị thực tế và giá trị lý thuyết của biến phụ thuộc là nhỏ nhất, cụ thể như sau:

$$S = \sum (y_i - \bar{y}_i)^2 = \min$$

Trong đó:

S: là tổng bình phương các độ lệch giữa giá trị thực tế và giá trị lý thuyết;

$y_i$ : là giá trị thực tế được xác định từ kết quả mô hình;

$\bar{y}_i$ : là giá trị lý thuyết được xác định từ kết quả của hàm tương quan.

Hệ số tương quan giữa giá trị thực tế và giá trị lý thuyết được xác định theo công thức:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2}}$$

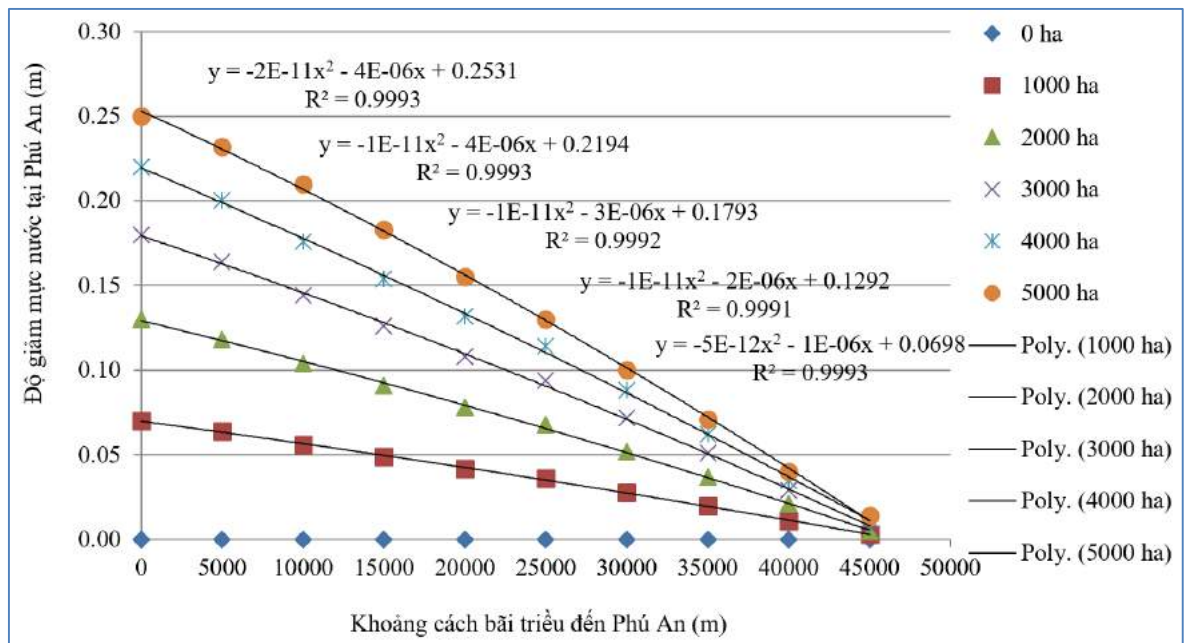
Trong đó:

R: là hệ số tương quan giữa giá trị thực tế và giá trị lý thuyết;

$\bar{y}_i$ : là bình quân giá trị thực tế được xác định từ kết quả mô hình.

Hệ số tương quan ( $0 \leq R \leq 1$ ) càng tiệm cận với giá trị 1 thì càng có mối liên hệ chặt chẽ. Hệ số tương quan  $R = 0$  thể hiện không có mối liên hệ tương quan.

Qua phân tích tính toán hệ số tương quan, kết quả cho thấy với hàm tương quan bậc 2 cho hệ số tương quan lớn nhất. Các kết quả thể hiện trong Hình 3-57.



Hình 3-57: Quan hệ giữa độ giảm mực nước lớn nhất tại Phú An khi thay đổi vị trí tính từ Phú An đến Hiệp Phước và diện tích bãi triều



Độ giảm mực nước tại Phú An cũng có thể tra theo các đường quan hệ trên hoặc tính theo các phương trình tương quan của các đường quan hệ. Bảng 3-14 liệt kê các phương trình tương quan giữa độ giảm mực nước lớn nhất với diện tích và vị trí bãi triều.

*Bảng 3-14: Kết quả các phương trình tương quan giữa kích thước và vị trí bãi triều với độ giảm mực nước lớn nhất trên sông*

| Diện tích bãi triều | Phương trình tương quan           |
|---------------------|-----------------------------------|
| 1000 ha             | $y = -5E-12x^2 - 1E-06x + 0.0698$ |
| 2000 ha             | $y = -1E-11x^2 - 2E-06x + 0.1292$ |
| 3000 ha             | $y = -1E-11x^2 - 3E-06x + 0.1793$ |
| 4000 ha             | $y = -1E-11x^2 - 4E-06x + 0.2194$ |
| 5000 ha             | $y = -2E-11x^2 - 4E-06x + 0.2531$ |

Ghi chú:  $y$  là độ giảm mực nước (m);  $x$  là khoảng cách từ bãi triều đến Phú An (m).

Như vậy, theo các phương trình được xây dựng trong Bảng 3-14, khi biết khoảng cách từ bãi triều đến vị trí tính toán và diện tích bãi triều có thể tính toán được độ giảm mực nước tại Phú An. Kết quả cũng cho thấy rằng, mối quan hệ giữa độ suy giảm mực nước lớn nhất với diện tích trong kết quả mô hình thử nghiệm, mối quan hệ giữa độ suy giảm mực nước lớn nhất với chiều rộng bãi triều trong kết quả mô hình thử nghiệm, thể hiện hợp lý với việc phân tích lý thuyết về truyền sóng triều cửa sông. Các kết quả cũng cho thấy, bãi triều có diện tích càng lớn thì mức độ cắt đỉnh triều càng cao. Vị trí của bãi triều cũng ảnh hưởng rất lớn đến mực nước đỉnh triều, tại ngay vị trí có bãi triều, mực nước sẽ giảm nhiều nhất và khi vị trí bãi triều càng xa điểm xét mực nước thì tác động của bãi đến mực nước sẽ giảm dần. Điều này cũng phù hợp với thực tế khi phân tích mực nước lớn nhất tại các trạm thủy văn hạ lưu sông Sài Gòn – Đồng Nai, mực nước lớn nhất tại Phú An (đại diện cho thành phố Hồ Chí Minh, bãi triều đã bị thu hẹp) có giá trị cao nhất khi so sánh với các khu vực khác.

### 3.5. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

- Theo kết quả tính toán của mô hình thử nghiệm: (i) Tại vị trí bãi triều, biên độ triều co hẹp lại làm cho mực nước đỉnh triều giảm thấp, mực nước chân triều tăng lên. Mực nước lớn nhất có xu hướng hạ thấp nhất tại vị trí bãi triều cho thấy rằng, khi cần giảm

thấp mực nước tại đâu thì cần đặt vị trí bãi triều ở vị trí đó để đạt hiệu quả cao nhất. Với cùng một diện tích bãi triều, khi dịch chuyển bãi triều lên thượng lưu, tổng lượng vào bãi triều càng giảm do biên độ triều giảm, tuy nhiên độ giảm mực nước lớn nhất càng lớn; (ii) Diện tích bãi càng lớn thì tác động của bãi triều đến độ giảm mực nước càng cao; (iii) Cao trình bãi triều tác động đến mực nước lớn nhất và nhỏ nhất phụ thuộc vào cao trình chân triều thấp nhất, cụ thể: Nếu chân triều thấp nhất tại vị trí bãi triều là trị số  $H_{\min}$  thì cao trình bãi triều chỉ có tác dụng giảm mực nước lớn nhất tính từ trị số này trở lên; (iv) Biên độ triều tăng lên khi mở rộng diện tích mặt cắt sông ở hạ lưu. Điều này chứng tỏ, đối với sông Soài Rạp hiện nay, do việc nạo vét lòng sông, mực nước lớn nhất đã gia tăng tại Phú An và Nhà Bè.

- Để đánh giá sự thay đổi bãi triều đến mực nước và lưu lượng khu vực hạ lưu sông SG-ĐN, các trường hợp đã được tính toán cụ thể, kết quả đã chỉ ra rằng: (i) Tác động của việc gia tăng đất xây dựng đã làm gia tăng mực nước lớn nhất trên các sông 17 cm, tác động của phát triển đất nông nghiệp cho đến nay đã làm gia tăng mực nước lớn nhất trên sông 25 cm. Tổng cộng tác động của việc thu hẹp bãi triều toàn vùng đã làm gia tăng mực nước lớn nhất 42 cm; (ii) Nếu xét độ gia tăng mực nước lớn nhất theo BĐKH (17 cm tại Phú An) và gia tăng mực nước do thay đổi bãi triều (19 cm tại Phú An) thì việc thu hẹp bãi triều do con người gây ra lớn hơn tác động của BĐKH; (iii) Theo phân tích, vùng hạ lưu lưu vực sông SG-ĐN hiện nay còn khoảng 23% diện tích bãi triều có thể tương tác với dòng chảy trong đó khu vực Cần Giờ đã chiếm khoảng 68,3% diện tích này, các khu vực còn lại trong khu vực hạ lưu chỉ còn khoảng 31,7%. Nếu các bãi triều không còn (ngoại trừ khu vực Cần Giờ), mực nước trên sông chính có thể gia tăng thêm 19 cm so với hiện trạng hiện nay. Nếu các bãi triều không còn (kể cả khu vực Cần Giờ), mực nước trên sông chính có thể gia tăng 25 cm so với hiện nay.

- Lưu lượng trên sông chính cũng có sự biến đổi lớn, trên sông Sài Gòn lưu lượng sẽ gia tăng lên khoảng 14,5%, trên sông Đồng Nai từ Mương Chuối đến Mũi Đèn đỏ lưu lượng có thể tăng lên 21,0%, tại sông Soài Rạp từ Hiệp Phước đến biển Đông lưu lượng lại có xu hướng giảm đi dưới 10,7% so với khi chưa thu hẹp bãi triều. Kết quả

này nhằm cung cấp thêm căn cứ để làm rõ vấn đề bồi lắng cửa sông, kênh rạch của khu vực hạ lưu sông SG-ĐN trong thời gian qua do vận tốc cửa sông giảm dưới tác động của việc mất đi các bãi triều.

- Theo kết quả nghiên cứu tác động của việc phát triển khu vực Nam Sài Gòn, tổng lượng qua bãi triều và kênh rạch của toàn bộ Khu Nam Sài Gòn trong một chu kỳ triều khi bãi triều chưa bị thu hẹp có thể lên tới 7,24 tỷ m<sup>3</sup>. Khi bãi triều không còn, tổng lượng vào ra qua các kênh rạch của Khu Nam Sài Gòn chỉ còn lại khoảng 2,17 tỷ m<sup>3</sup> trong một chu kỳ triều (chỉ còn khoảng 30%). Mức nước lớn nhất tại Phú An tăng lên khoảng 12 cm (tăng từ cao trình +1,58 m lên cao trình +1,70 m). Mức nước lớn nhất tại Nhà Bè tăng lên khoảng 15 cm (tăng từ cao trình +1,54 m lên cao trình +1,69 m). Mức nước đỉnh triều tại Phú Mỹ Hưng tăng lên khoảng 20 cm (tăng từ cao trình +1,49 m lên cao trình +1,69 m). So với độ gia tăng mực nước lớn nhất ngoài sông chính thì mức độ gia tăng này lớn hơn nhiều do khu vực này sẽ là nơi bị tác động chính của việc thu hẹp các bãi triều. Điều này chứng tỏ không gian bãi triều trong Khu Nam Sài Gòn sẽ tác động rất lớn đến mực nước triều trong khu vực.

- Các giải pháp cho việc kiểm soát ngập trong khu vực đã được thực hiện như: (i) Xây dựng đê bao và xây dựng cống kiểm soát; (ii) Nâng cao cốt nền xây dựng. Dựa vào kết quả nghiên cứu này, luận án đề xuất giải pháp sử dụng diện tích đất nông nghiệp không canh tác trong mùa triều cường để hoàn trả lại các bãi triều tự nhiên trước đây. Theo kết quả nghiên cứu, việc hoàn trả lại các bãi triều làm mực nước trong sông giảm đi khá lớn. Tuy nhiên, trong thực tế cần đánh giá kỹ hơn về mặt hiệu quả kinh tế trong giải pháp này mà nghiên cứu chưa thực hiện được .

- Nghiên cứu đã xác định tương quan giữa diện tích và vị trí bãi triều với mực nước lớn nhất trên sông. Trong nghiên cứu này, lựa chọn vị trí tại trạm thủy văn Phú An, nơi đại diện cho việc gia tăng mực nước trong những năm gần đây gây ngập cho Thành Phố Hồ Chí Minh. Từ kết quả nghiên cứu, xây dựng đường quan hệ về độ giảm mực nước tại Phú An theo vị trí và diện tích bãi triều.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### ❖ KẾT LUẬN

1. Địa hình lòng sông và các bãi ven sông luôn thay đổi dưới tác động của các yếu tố tự nhiên và con người, những thay đổi này đã tác động đến mực nước và lưu lượng trên sông. Các dạng địa hình có thể kể đến như: (i) Địa hình mặt cắt sông vao gồm mặt cắt lòng sông và các bãi bên; (ii) Các khu trũng ở phía thượng lưu là các khu chậm lũ; (iii) Tại hạ lưu vùng ảnh hưởng triều là các bãi chứa (chậm) triều (bãi triều). Luận án tập trung nghiên cứu về sự thay đổi mực nước và lưu lượng trên sông khi các bãi triều bị thu hẹp.

2. Luận án đã thu thập các số liệu có liên quan, tham khảo các nghiên cứu trong nước và trên thế giới, đặc biệt là những nghiên cứu về khu vực ảnh hưởng của thủy triều cửa sông. Sử dụng việc phân tích lý thuyết để xác định các mối quan hệ giữa thông số của bãi triều với mực nước và lưu lượng trong sông để từ đó tìm lời giải thích cho việc thay đổi diện tích của các bãi triều hiện nay đến mực nước và lưu lượng trong sông. Luận án đã sử dụng các tài liệu về cơ cấu sử dụng đất thông qua việc thu thập số liệu tại địa phương và phân tích ảnh vệ tinh để xác định các bãi triều. Ngoài việc phân tích cơ sở lý thuyết, luận án đã xây dựng mô hình thủy lực thử nghiệm để mô phỏng các bãi triều với rất nhiều kịch bản tính. Đối với áp dụng tính toán thực tế, luận án đã sử dụng mô hình thủy lực (1 chiều, 2 chiều) để mô tả tác động của các bãi triều trước đây và hiện nay đã hình thành nên các khu sản xuất nông nghiệp và đất xây dựng cơ sở hạ tầng đến mực nước và lưu lượng trên sông chính.

3. Các kết quả đạt được dựa trên phân tích cơ sở khoa học của luận án:

- Luận án đã dựa vào việc phân tích các thông số của phương trình liên tục trong hệ phương trình thủy động lực để đưa ra kết luận:
  - Với bề rộng bãi triều càng lớn và trong thời điểm triều lên, mực nước đỉnh triều giảm đi;
  - Với bề rộng bãi triều càng lớn và trong thời điểm triều rút, mực nước chân triều tăng lên.

- Nếu coi quá trình truyền triều vào trong sông như một chuyển động sóng, luận án đã phân tích và đơn giản hóa các thông số trong phương trình truyền sóng và chỉ ra rằng:

- Bề rộng bãi triều càng lớn thì biên độ sóng càng nhỏ và như vậy mực nước đỉnh triều giảm xuống và mực nước chân triều tăng lên (Biên độ sóng tỷ lệ nghịch với bề rộng của bãi triều). Do lưu lượng qua bãi triều lớn khi bề rộng bãi triều lớn nên lưu lượng thượng lưu bãi triều giảm đi;
- Mặt cắt lòng dẫn khu vực cửa sông càng lớn thì lưu lượng cửa sông lớn và cũng làm gia tăng biên độ triều trong lòng dẫn.

4. Kết quả nghiên cứu mô hình thủy lực thử nghiệm với việc mô phỏng hai sông chính Đồng Nai và Sài Gòn đã minh chứng và lượng hoá được tác động bãi triều đến mực nước và lưu lượng trong sông:

- Tác động của bãi triều: Bãi triều làm cho biên độ triều hẹp lại (mực nước lớn nhất giảm, mực nước nhỏ nhất tăng lên, lưu lượng dòng chảy trên sông chính tính từ vị trí bãi lên thượng lưu sẽ giảm đi;
- Tác động của vị trí bãi triều: Tác động mạnh nhất của bãi triều đến mực nước lớn nhất trên sông ngay tại vị trí có bãi triều. Nếu tính tổng lượng triều vào bãi triều (có thể coi là mức độ hấp thụ triều của bãi) thì vị trí bãi càng gần biển, bãi triều hấp thụ triều càng lớn do biên độ triều gần biển lớn hơn so với khi vào sâu trong sông. Tuy nhiên, khi bãi triều gần biển thì bãi triều này lại phải điều tiết dòng triều cho nhiều đoạn sông hơn tính từ vị trí bãi cho đến thượng lưu nên hiệu quả về mặt giảm thấp lớn nhất lại không nhiều. Như vậy, cần phải xem xét lợi ích của vùng cần giảm triều mà bố trí vị trí bãi triều cho phù hợp;
- Về diện tích bãi triều: Diện tích bãi triều càng lớn thì hiệu quả về thu hẹp biên độ triều càng lớn;
- Về cao trình bãi triều: Cao trình bãi triều có tác động đến mực nước và lưu lượng dòng chảy trong sông là cao trình trong phạm vi từ chân triều đến đỉnh triều;



- Về thay đổi mặt cắt lòng dẫn: Việc nạo vét mở rộng mặt cắt sông tại khu vực hạ lưu cũng làm làm biên độ triều tăng, lưu lượng từ biển vào trong sông cũng tăng so với trường hợp chưa mở rộng mặt cắt.

5. Luận án đã áp dụng tính toán thực tế cho khu vực hạ lưu sông SG-ĐN, nghiên cứu đã đưa ra được việc suy giảm các bãi triều đã làm gia tăng mực nước đỉnh triều trên sông. Nếu tính toán theo độ gia tăng mực nước lớn nhất tính trung bình tại các vị trí trên sông, tác động của việc thu hẹp các bãi triều cho đến nay đã làm gia tăng 42 cm, lưu lượng lớn nhất của sông giảm đi 83%, lưu lượng nhỏ nhất của sông giảm đi 85%. Luận án cũng dự đã báo được sự gia tăng mực nước khi các bãi triều hiện nay không còn để khuyến cáo sự gia tăng mực nước đỉnh triều trong khu vực hạ lưu sông SG-ĐN.

6. Luận án đã tiến hành tính toán chi tiết tác động của các bãi triều cho khu vực Nam Sài Gòn. Tổng lượng qua bãi triều và kênh rạch của toàn bộ Khu Nam Sài Gòn trong một chu kỳ triều chỉ còn khoảng 30% so với trước đây. Mực nước đỉnh triều tại Phú An tăng lên khoảng 12 cm, tại Nhà Bè tăng lên khoảng 15 cm, tại Phú Mỹ Hưng tăng lên khoảng 20 cm. Điều này chứng tỏ không gian bãi triều trong Khu Nam Sài Gòn có tác động rất lớn đến mực nước triều trong khu vực.

7. Về xây dựng mối quan hệ: Trên cơ sở các số liệu tính toán về vị trí và diện tích bãi triều, luận án đã xây dựng được tương quan giữa diện tích và vị trí bãi triều với độ giảm mực nước tại Phú An trên sông Sài Gòn.

*Như vậy có thể thấy rằng, bãi triều trong vùng nghiên cứu là một yếu tố vô cùng quan trọng tác động đến chế độ triều. Theo các kết quả phân tích, tác động của con người trong việc thu hẹp các bãi triều làm cho mực nước lớn nhất tăng lên trên sông còn lớn hơn nhiều so với tác động của nước biển dâng. Do đó, con người cần phải có những quan niệm và ứng xử phù hợp hơn trong vấn đề khai thác và bảo vệ các bãi triều trong khu vực ảnh hưởng triều. Nghiên cứu này áp dụng cho vùng hạ lưu SG-ĐN nhưng về nguyên lý và quy luật chung có thể áp dụng được cho các lưu vực sông khác nơi có ảnh hưởng của thủy triều.*

❖ **HƯỚNG PHÁT TRIỂN TIẾP THEO**

1. Luận án mới chỉ giới hạn nghiên cứu tác động của các bãi triều đến mực nước và lưu lượng trong lòng dẫn. Các yếu tố lún sụt đất, biến hình lòng dẫn, hệ số nhám, tác động của gió, thành phần độ mặn và công trình tác động đến truyền triều vào cửa sông chưa được đề cập trong nghiên cứu này. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần nghiên cứu thêm về các yếu tố này để đưa ra được kết quả đầy đủ hơn;
2. Hình dạng bãi triều cũng chưa được đề cập trong nghiên cứu này, cần có những nghiên cứu tiếp theo để đánh giá cụ thể hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

---

- [1] Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ. *Số liệu mực nước giờ tại Phú An đến năm 2019*, 2019.
- [2] P. T. Vinh, N. A. Niên, *Một số nhận định về biến động mực nước trên các sông chính tại Việt Nam*. Tuyển tập kết quả KH&CN 2015, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2015.
- [3] Trường Đại học Thủy lợi, *Nghiên cứu giải pháp tổng thể kiểm soát ngập lụt vùng hạ lưu sông Đồng Nai- Sài Gòn và vùng lân cận*, 2013.
- [4] Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam, *Quy hoạch tổng thể Thủy lợi vùng Đông Nam Bộ thích ứng với biến đổi khí hậu nước biển dâng*, 2013.
- [5] Phân viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường phía nam, *Nghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn dòng chảy thủy văn đô thị phục vụ xây dựng cơ sở hạ tầng, chỉnh trang đô thị và chống ngập vùng ven sông Sài Gòn - tỉnh Bình Dương*, 2012.
- [6] Trung tâm Điều hành chương trình chống ngập nước thành phố, *Tình hình ngập nước đến năm 2017 và các biện pháp giải quyết*, 2018.
- [7] Đ. T. Lanh, “Quản lý tổng hợp lưu vực và sử dụng hợp lý tài nguyên nước hệ thống sông Đồng Nai”, Đề tài KC.08/06-10, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2010.
- [8] Công ty Thủy điện Trị An – Tập đoàn Điện lực Việt Nam, *Số liệu lưu lượng vận hành hồ từ năm 1980 – 2016*, 2017.
- [9] L. V. Trung, N. T. Có, *Đánh giá khả năng ứng dụng ảnh Sentinel-1 trong giám sát lún mặt đất tại Thành phố Hồ Chí Minh*. Tạp chí Phát triển Khoa học & Công nghệ, Tập 2, số 2, 2018.
- [10] <https://vi.wikipedia.org/wiki/Lụt>.
- [11] [https://vi.wikipedia.org/wiki/Đất\\_ngập\\_nước](https://vi.wikipedia.org/wiki/Đất_ngập_nước).
- [12] [https://vi.wikipedia.org/wiki/Bãi\\_bùn](https://vi.wikipedia.org/wiki/Bãi_bùn).
- [13] Mitsch, J.W., J.G. Gosselink, *Wetlands*, Second edition. Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1993, pp 543.

- 
- [14] Keddy, A.P., *Wetland Ecology: Principles and Conservation*, Cambridge University Press, 2000, pp 614.
- [15] Cowardin, L.M., V. Carter, F.C. Golet, and E.T. LaRoe, *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United State*, U.S. Fish & Wildlife Service Pub. FWS/OBS79/31, Washington, D.C., 1979, pp 103.
- [16] Ramsar Convention Bureau, *The Ramsar Convention Manual: A Guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran , 1971)*, 2nd edition, Gland, Switzerland, 1997, pp.161.
- [17] Mekong River Commision, *Study on the MRC wetlands classification system including recommendations for its further development*, Inventory and Management of Wetlands in the Lower Mekong basin project, Phase II. Reported by Mark Dubois, 2000, pp 17.
- [18] Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường, *Các vùng đất ngập nước có giá trị đa dạng sinh học và môi trường của Việt Nam*, 2001.
- [19] N. C. Hồi, L. D. Dục, P. N. Hồng, N. K. Kinh, *Việt Nam - Chiến lược Quốc gia về Bảo vệ và Quản lý đất ngập nước: Hiện trạng, Sử dụng, Bảo vệ và Quản lý*. Kỷ yếu Hội thảo, Hà Nội, 1996.
- [20] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *Kỹ thuật phân loại đất ngập nước*, 2016.
- [21] N. T. Đắc, *Mô hình toán cho dòng chảy và chất lượng nước trên hệ thống kênh sông*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2005.
- [22] P. T. Vinh và N. A. Niên, *Phân tích tác động thành phần triều trong tiêu thoát nước đô thị vùng ảnh hưởng triều*, Tuyển tập kết quả KH&CN 2012, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2012.
- [23] N. P. Quỳnh, *Nghiên cứu các giải pháp phân lũ, chậm lũ và giảm lũ nhằm giảm ngập cho Thành Phố Hồ Chí Minh*, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2017.
- [24] L. M. Hùng, *Quy hoạch thủy lợi chống ngập cho khu vực Thành Phố Hồ Chí Minh*, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2008.
- [25] N.E. Vellingaa, A.J.F. Hoitink, M. van der Vegta, W. Zhangc, P. Hoekstra, *Human impacts on tides overwhelm the effect of sea level rise on extreme water levels*

---

*in the Rhine–Meuse delta*, ELSEVIE. Coastal Engineering, Netherlands, 2014, pp. 40–50.

[26] J.G De Ronde, *Environmental impacts of enclosure dams in the Netherland*, Ministry of transport and Puplic Works Press. Netherlands, 1990, pp. 223–229.

[27] A.J.F. Van Der Spek, *Tidal asymmetry and long-term evolution of Holocene tidal basins in the Netherland: simulation of palaeo-tide in the Schelde estuary*, Marine geology, 1997, pp. 71–90.

[28] Hunt, J. N., *Tidal oscillations in estuaries*, Geo. J. Roy. Ast. Soc., 8, 1964, pp. 440–455, DOI:10.1111/j.1365-246X.1964.tb03863.x.

[29] Dronkers, J. J., *Tidal Computations in River and Coastal Waters*, Elsevier, New York, 1964, pp. 296–304.

[30] Jay, D. A., *Green law revisited - tidal long-wave propagation in channels with strong topography*, J Geophys Res-Oceans, 96(C11), 20, 1991, pp. 585–20.598.

[31] Friedrichs, C. T., and D. G. Aubrey, *Tidal propagation in strongly convergent channels*, J. Geophys. Res. Oceans, 99(C2), 1994, pp. 3321–3336.

[32] Lanzoni, S., and G. Seminara, *On tide propagation in convergent estuaries*, J Geophys Res-Oceans, 103(C13), 1998, pp. 30.793–30.812.

[33] Prandle, D., *Relationships between tidal dynamics and bathymetry in strongly convergent estuaries*, J Phys Oceanogr, 33(12), 2003, pp. 2738–2750.

[34] Souza, A. J., and A. E. Hill, *Tidal dynamics in channels: Single channels*, J.Geophys. Res. Oceans, 111(C9), 2006.

[35] Toffolon, M., and H. H. G. Savenije, *Revisiting linearized one-dimensional tidal propagation*, J. Geophys. Res. Oceans, 116(C07007), 2011. DOI:10.1029/2010JC006616.

[36] Kuijper, K., and L. C. Van Rijn, *Analytical and numerical analysis of tides and salinities in estuaries; part ii: salinity distributions in prismatic and convergent tidal channels*, Ocean Dynam, 61(11), 2011, pp. 1743–1765.



- 
- [37] Savenije, H. H. G., and E. J. M. Veling, *Relation between tidal damping and wave celerity in estuaries*, J. Geophys. Res. Oceans, 110(C4), 2005, DOI:10.1029/2004JC002278.
- [38] Leo C. Van Rijn, 1989. *Principles of fluid flow and surface waves in river, estuaries, seas and oceans*, Lecturer Fluid Mechanics, University of Utrecht, The Netherlands
- [39] Huayang Cai, *A new analytical framework for tidal propagation in estuaries*, Master of Science in Physical Geography, Sun Yat-sen University, Guangzhou, China, 2014.
- [40] Savenije, H. H. G., *Analytical expression for tidal damping in alluvial estuaries*, J. Hydraul. Eng., 124, 1998, pp. 615–618.
- [41] H. Cai, H. H. G. Savenije, and M. Toffolon, *Influence of river discharge on tidal damping*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 2014, pp. 287–304.
- [42] Hubert S., *Salinity and Tide in Alluvial Estuaries*, Delft University of Technology. Netherlands, 2012, pp. 24-67.
- [43] Deltares, *Response of tidal rivers to deepening and narrowing*, Long-Term Vision of Scheldt estuary with respect to Safety, Accessibility and Nature, 2013, pp. 3-12.
- [44] N. K. Phùng, *Đánh giá tác động của một số yếu tố tự nhiên và nhân sinh đến ngập lụt Thành Phố Hồ Chí Minh*. Kỷ yếu hội thảo chuyên đề, Vấn đề ngập nước trên địa bàn Thành Phố Hồ Chí Minh, Viện Nghiên cứu và Phát triển, 2016.
- [45] T. T. Long, V. K. Tri, N. V. K. Triet, P. T. Vinh, FUJII Hideto, *Evaluation of Full-Dike System Impact on the Flow Regime in a Flood Prone Area of the Mekong Delta*, Japan International Center for Agriculture Science, 2016.
- [46] P. T. Vinh @ nnk, *Nghiên cứu ảnh hưởng của hệ thống công trình thủy lợi chống ngập TPHCM đến các vùng dân cư ven sông SG-ĐN*. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2013.
- [47] Đ. C. Sãn, *Nghiên cứu đề xuất giải pháp tổng thể kiểm soát ngập lũ lưu vực sông Đồng Nai*. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2017.

- 
- [48] P. V. Huân, *Động lực học biển, phần 3 - Thủy triều*. Nhà xuất bản đại học Quốc Gia Hà Nội, 2002.
- [49] N. A. Niên, P. T. Vinh, Đ. Đ. Hải, 2016. *Thử tìm tốc độ truyền triều trong hệ thống sông ngòi*. Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học thủy khí toàn quốc lần thứ 19.
- [50] Nien N.A., *The Third Invariant Form of Fluid Dynamic Equation*. Proc. The first Vietnamese-Japan Symposium on Advanced Electromagnetic and Mechanics-Tokyo, 1998.
- [51] V. V. Tảo, N. C. Cầm, *Giáo trình thủy lực tập I*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2006.
- [52] Royal HaskoningDHV Vietnam, *Flood control for Hochiminh City*, 2012.
- [53] Nguồn ảnh từ <http://glovis.usgs.gov/>.
- [54] Manuals of DHI, 2014.
- [55] P. T. Vinh, *Tư vấn khảo sát, tính toán thủy văn, thủy lực dự án thủy lợi chống ngập úng khu vực TPHCM*. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2009.
- [56] Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Đồng Nai, *Hiện trạng sử dụng đất tỉnh Đồng Nai*, 2000, 2010, 2015.
- [57] Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Bình Dương, *Hiện trạng sử dụng đất tỉnh Bình Dương*, 2000, 2010, 2015.
- [58] Sở Tài nguyên và Môi trường TPHCM, *Hiện trạng sử dụng đất TPHCM*, 2000, 2010, 2015.
- [59] Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu, *Hiện trạng sử dụng đất tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu*, 2000, 2010, 2015.
- [60] Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Long An, *Hiện trạng sử dụng đất tỉnh Long An*, 2000, 2010, 2015.
- [61] Nguồn trích dẫn ảnh từ <http://glovis.usgs.gov/>.
- [62] Nguồn số liệu từ Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ đến năm 2019, năm 2019.

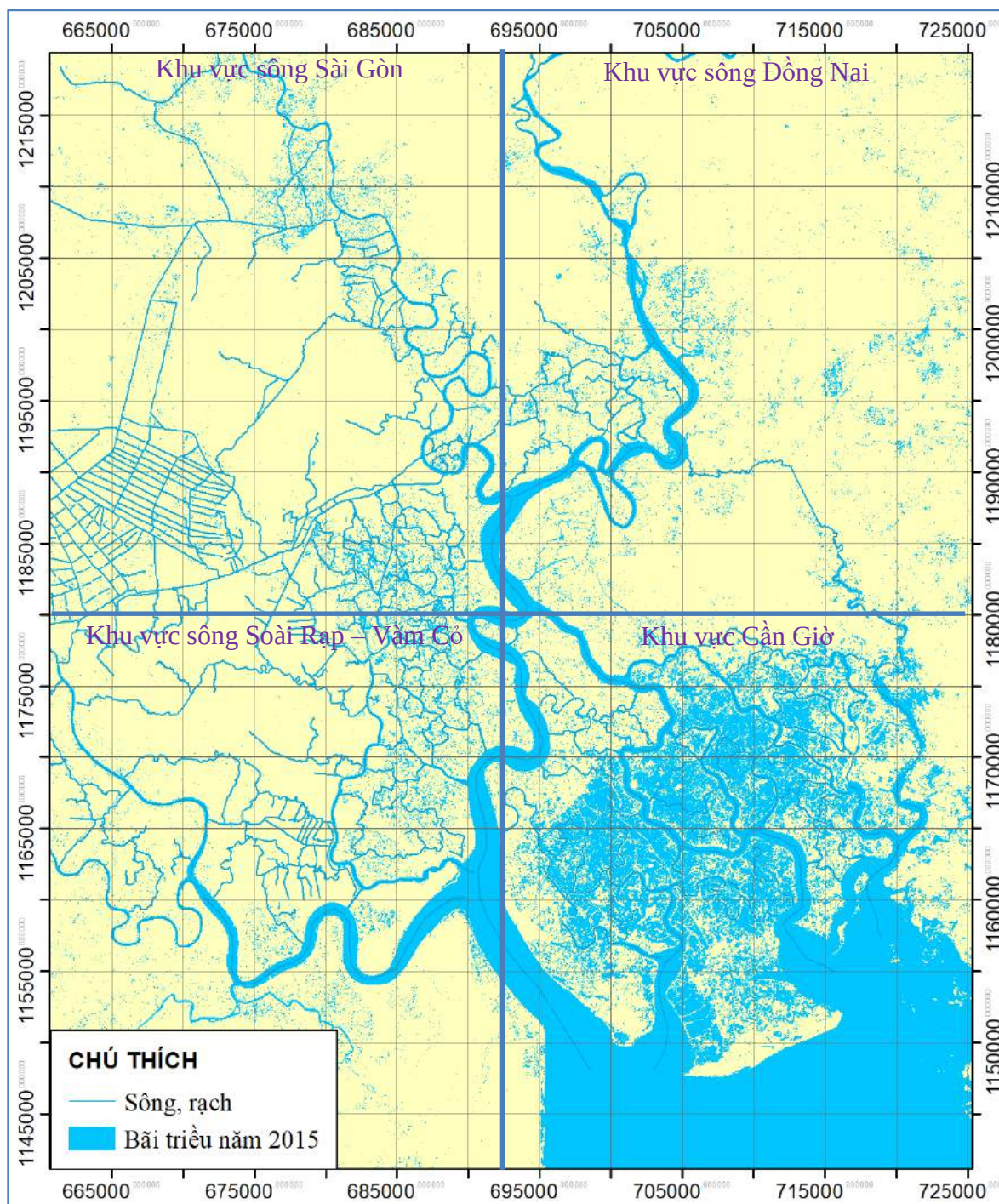
- 
- [63] P. T. Vinh, T. Đ. Thắng, N. A. Niên, *Mô phỏng cơ chế dòng triều dưới tác động của sự thay đổi mặt bằng sử dụng đất đến mực nước hạ lưu sông Đồng Nai*. Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học thủy khí toàn quốc lần thứ 20.
- [64] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam*, 2016.
- [65] N. T. Đắc, *Cơ sở tính toán cho việc lựa chọn xây dựng cống - Đập Soài Rạp*. Hội Đập lớn và Phát triển nguồn nước Việt Nam, 2011.
- [66] T. B. Hoàng, N. D. Khang, *Tác động của tuyến đê biển Vũng Tàu - Gò Công lên chế độ thủy động lực các khu vực lân cận*. Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi số 12/2012, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2012.
- [67] The benefits of wetland restoration, *The benefits of wetland restoration*, Ramsar COP11 DOC. 29, 2012.
- [68] Bảo tồn đất ngập nước/ A wetland area in Vietnam, World Wide Fund - Việt Nam. [Http://vietnam.panda.org/what\\_we\\_do\\_vi/t\\_ngp\\_nc/](http://vietnam.panda.org/what_we_do_vi/t_ngp_nc/).
69. Nguyễn Tất Đắc, 2011. *Cơ sở tính toán cho việc lựa chọn xây dựng cống - Đập Soài Rạp*. Hội Đập lớn và Phát triển nguồn nước Việt Nam.
70. Trần Bá Hoàng, Nguyễn Duy Khang, 2012. *Tác động của tuyến đê biển Vũng Tàu - Gò Công lên chế độ thủy động lực các khu vực lân cận*. Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi số 12/2012, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

## **DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ**

- 1) Phạm Thế Vinh, Nguyễn Ân Niên, 2012. *Phân tích tác động thành phần triều trong tiêu thoát nước đô thị vùng ảnh hưởng triều*, Tuyển tập kết quả KH&CN 2012, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam;
- 2) Phạm Thế Vinh, Nguyễn Ân Niên, 2015. *Một số nhận định về biến động mực nước trên các sông chính tại Việt Nam*, Tuyển tập kết quả KH&CN 2015, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam;
- 3) TRINH Thi Long, VO Khắc Tri, NGUYEN van Khanh Triet, PHAM The Vinh, FUJII Hideto, 2016. *Evaluation of Full-Dike System Impact on the Flow Regime in a Flood Prone Area of the Mekong Delta*, Japan International Center for Agriculture Science (Tạp chí Quốc tế của Nhật bản JIRCAS có chuẩn ISSN 13421999 xuất bản năm 2016);
- 4) Phạm Thế Vinh, Đỗ Đắc Hải, Nguyễn Ân Niên, 2016. *Thử tìm tốc độ truyền triều trong hệ thống sông ngòi*, Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học thủy khí toàn quốc lần thứ 19;
- 5) Phạm Thế Vinh, Nguyễn Ân Niên, Tăng Đức Thắng, 2017. *Tác động của bãi triều đến chế độ dòng chảy hạ lưu sông Đồng Nai*, Tuyển tập kết quả KH&CN 2017, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam;
- 6) Phạm Thế Vinh, Nguyễn Ân Niên, Tăng Đức Thắng, 2017. *Mô phỏng cơ chế dòng triều dưới tác động của sự thay đổi mặt bằng sử dụng đất đến mực nước hạ lưu sông Đồng Nai*, Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học thủy khí toàn quốc lần thứ 20;
- 7) Võ Quang Tường, Phạm Thế Vinh, Nguyễn Quý, Huỳnh Thanh Sơn, 2018. *Nghiên cứu bước đầu tác động của các hồ điều tiết Cần Giò (dự kiến) đến mực nước trên sông Sài Gòn (TPHCM)*, Tạp chí KH&CN Thủy lợi số 43, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

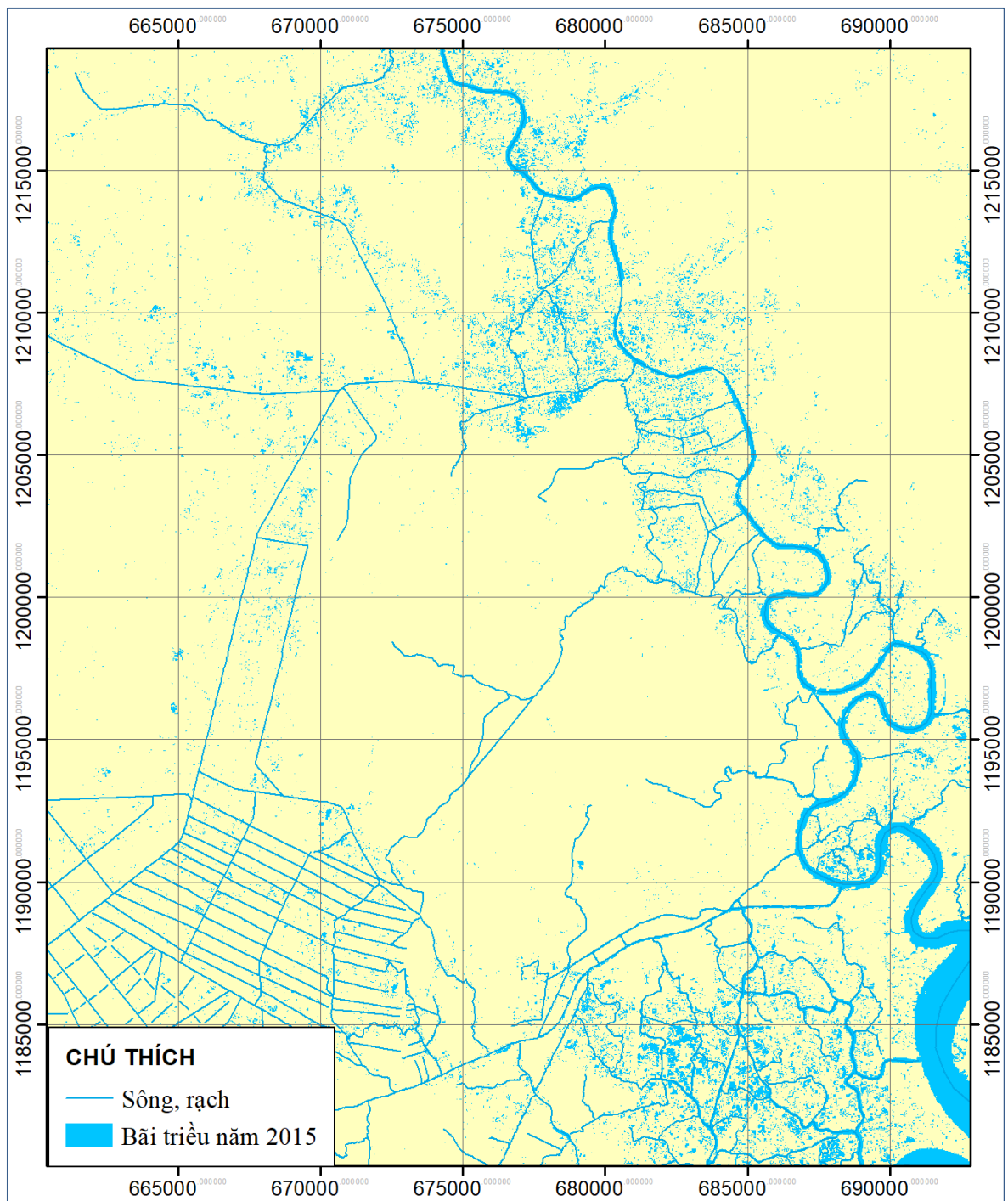
## PHẦN PHỤ LỤC

### PHỤ LỤC 1: Bãi triều tại khu vực hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai

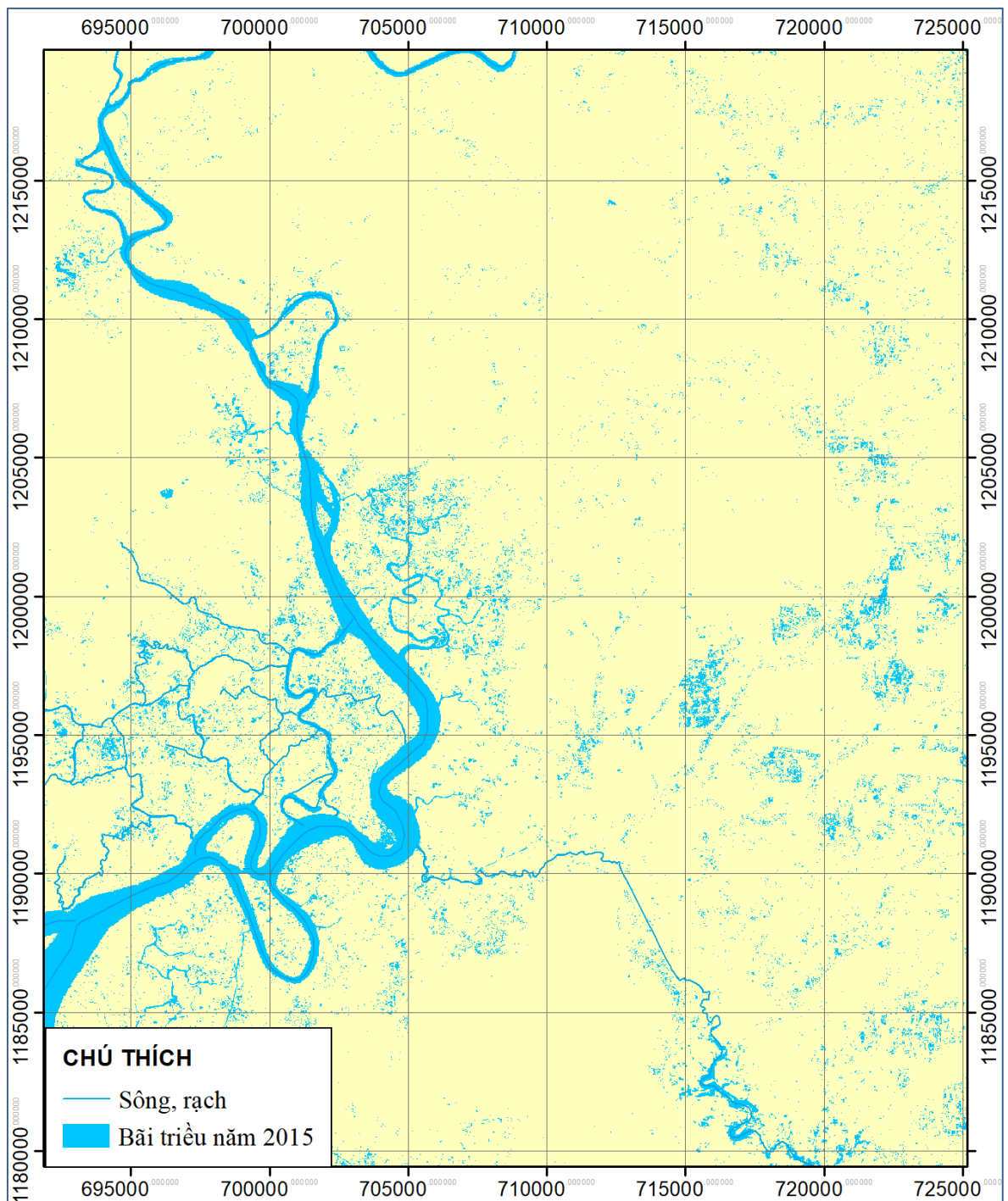


Phụ lục hình 1: Phân bố bãi triều hạ lưu sông Đồng Nai tính đến năm 2015

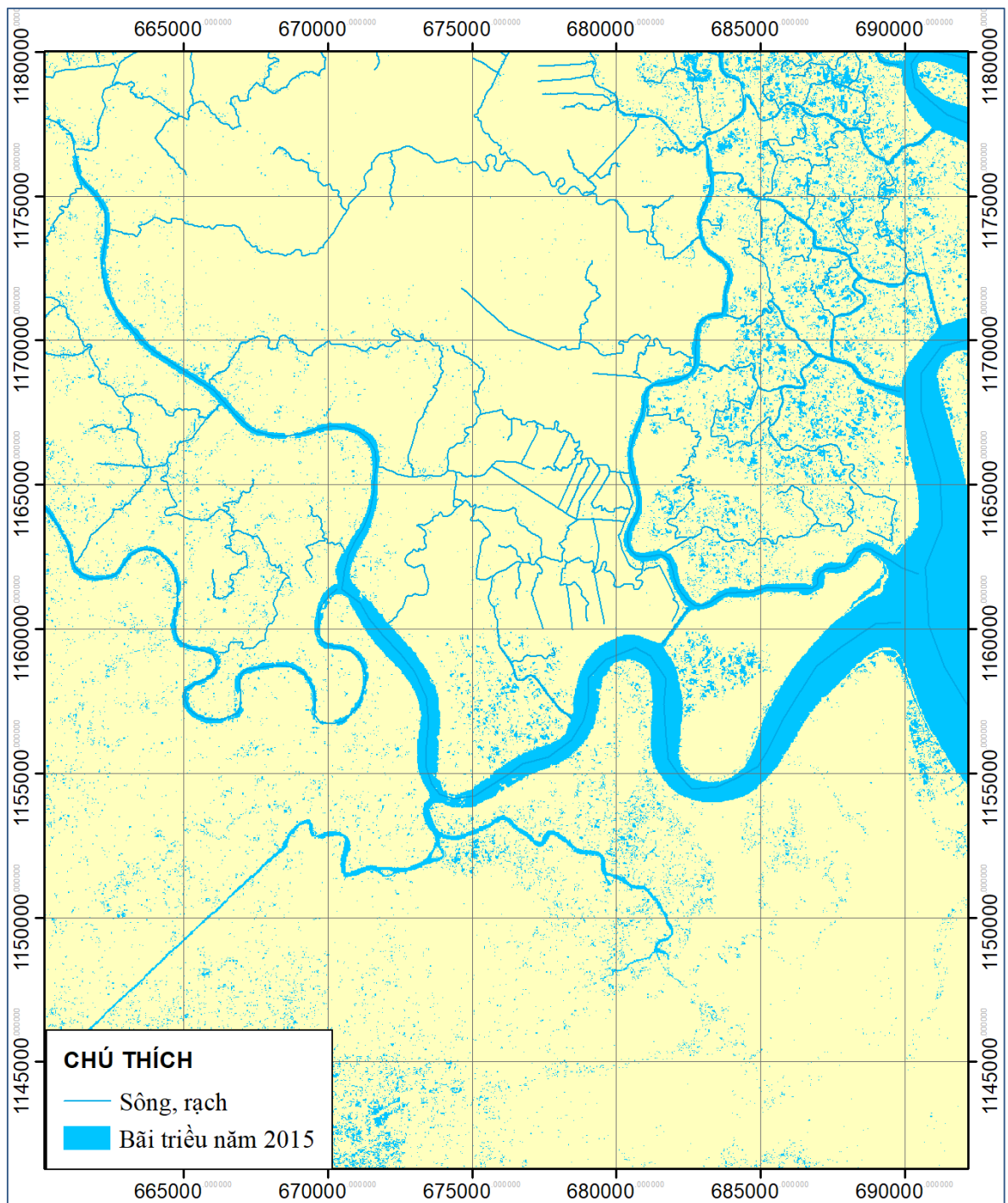




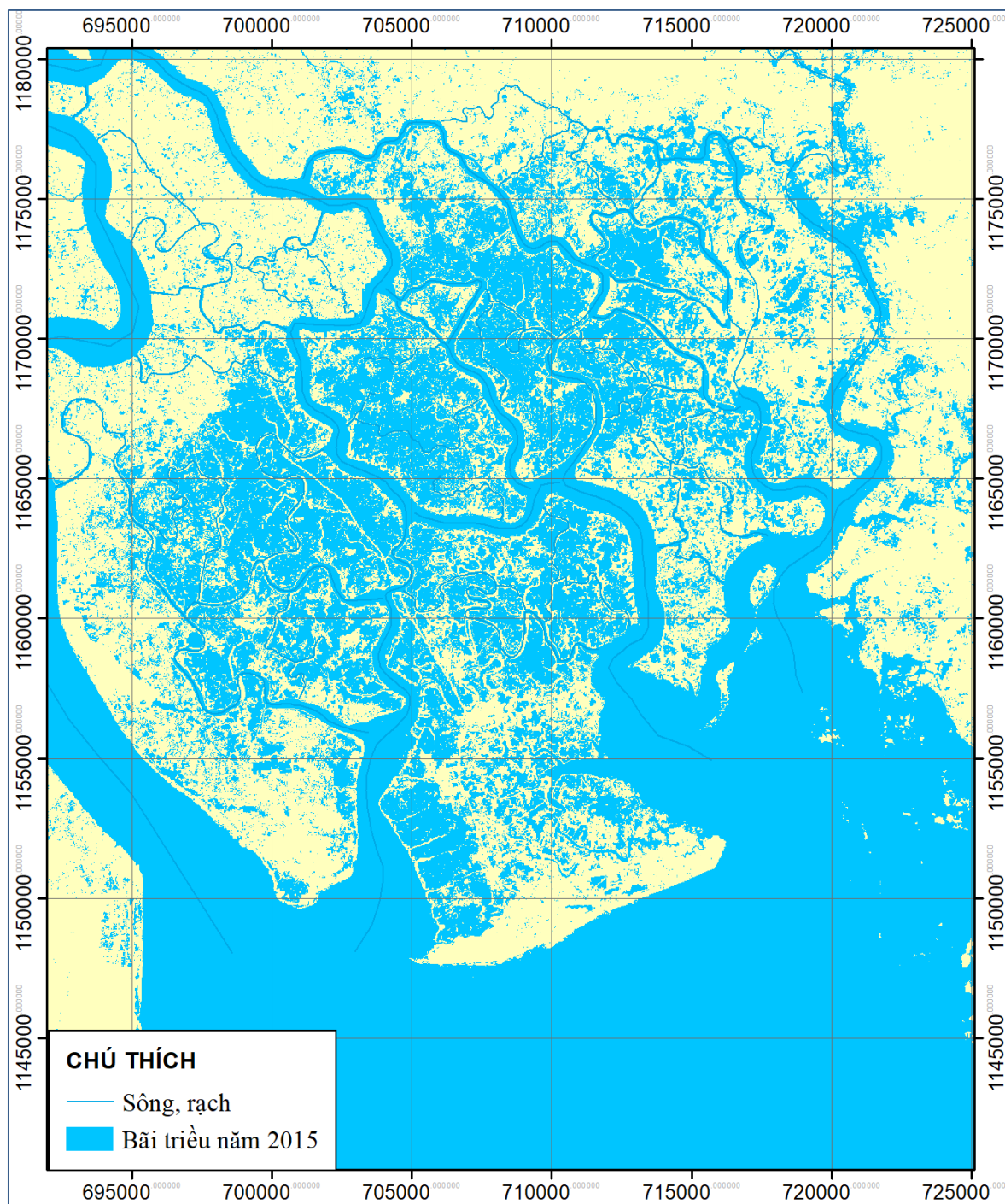
Phụ lục hình 2: Phân bố bãi triều khu vực sông Sài Gòn tính đến năm 2015



*Phụ lục hình 3: Phân bố bãi triều khu vực sông Đồng Nai tính đến năm 2015*

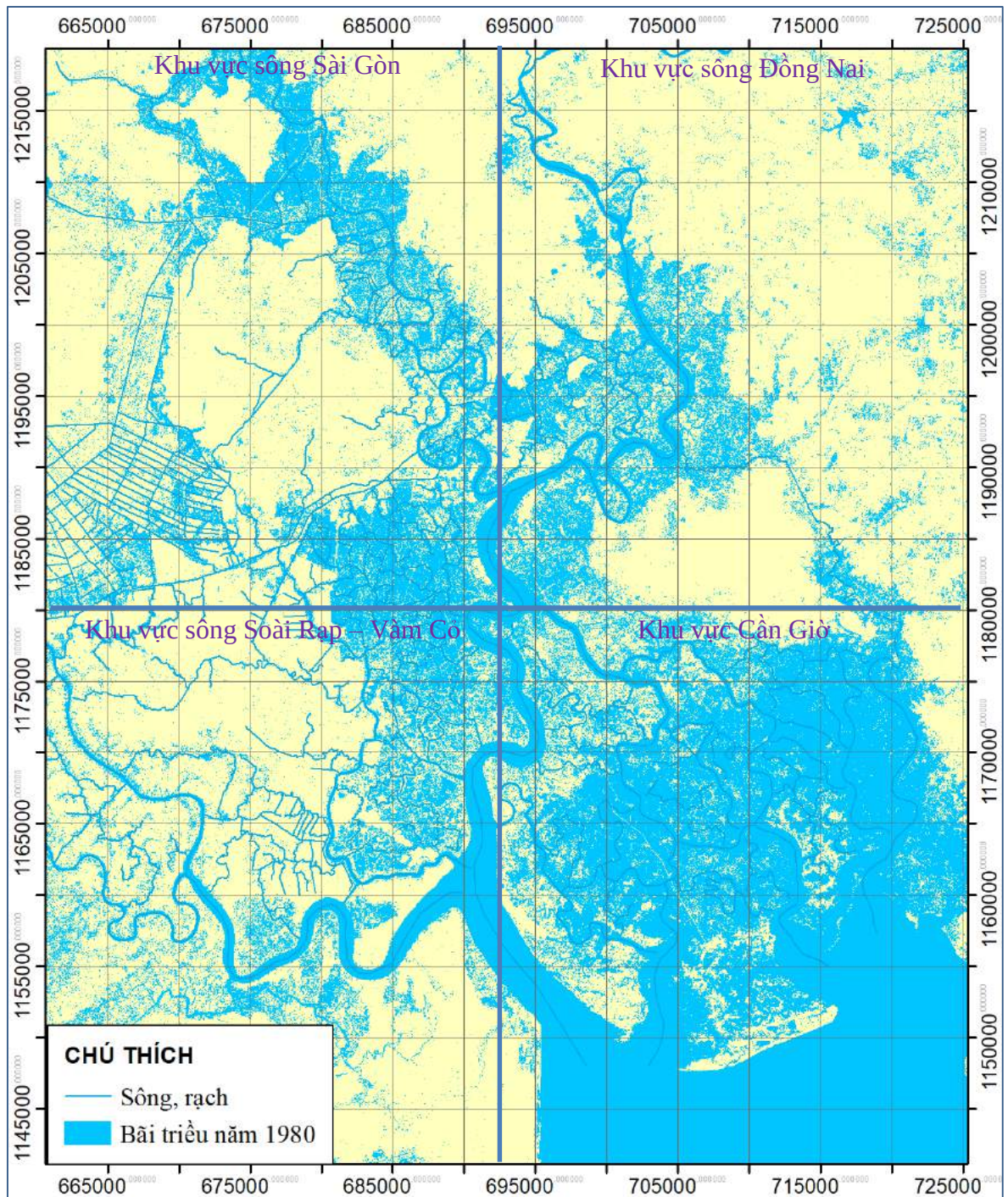


Phụ lục hình 4: Phân bố bãi triều khu vực Soài Rạp – Vàm Cỏ tính đến năm 2015



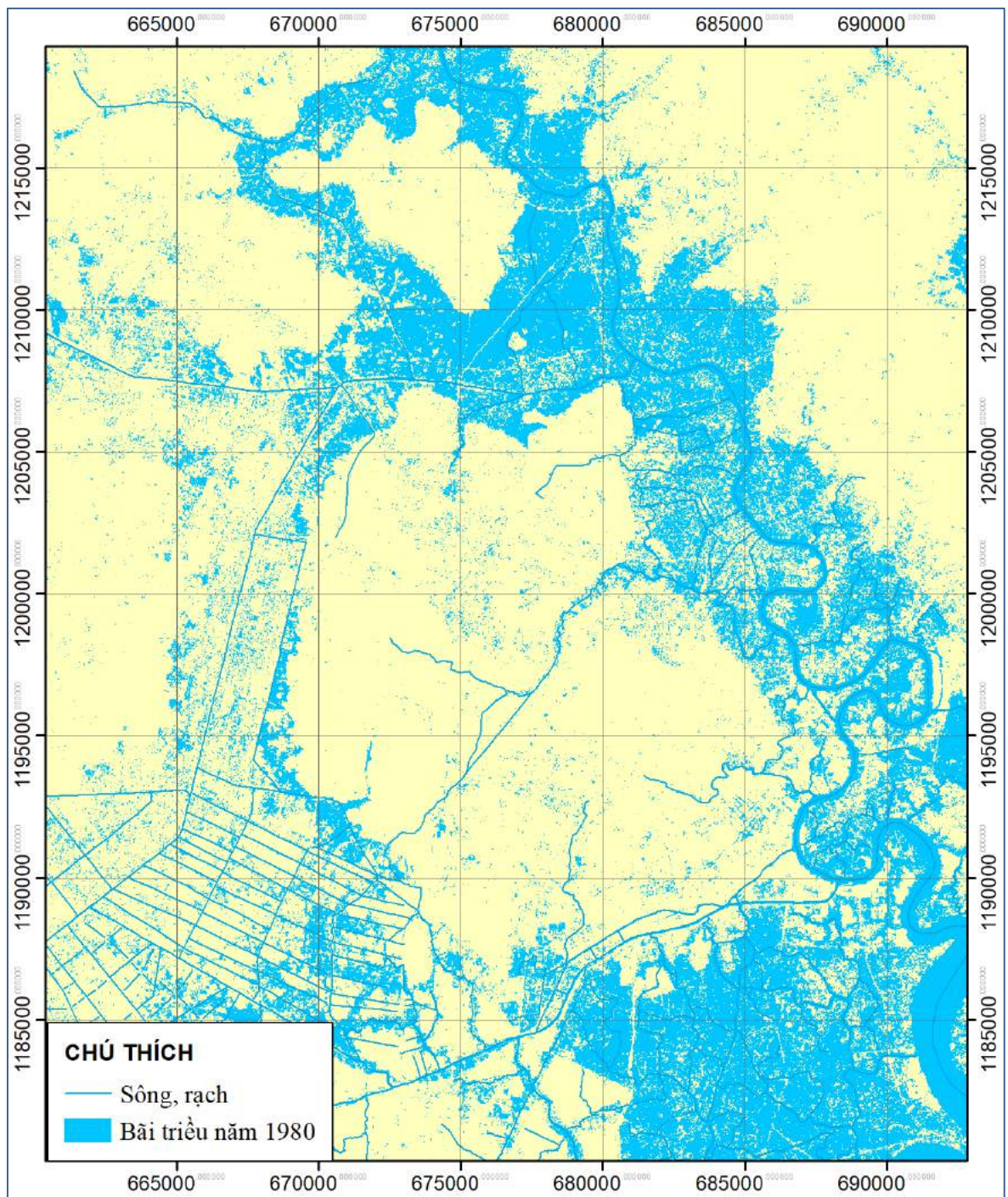
*Phụ lục hình 5: Phân bố bãi triều khu vực Cần Giờ tính đến năm 2015*



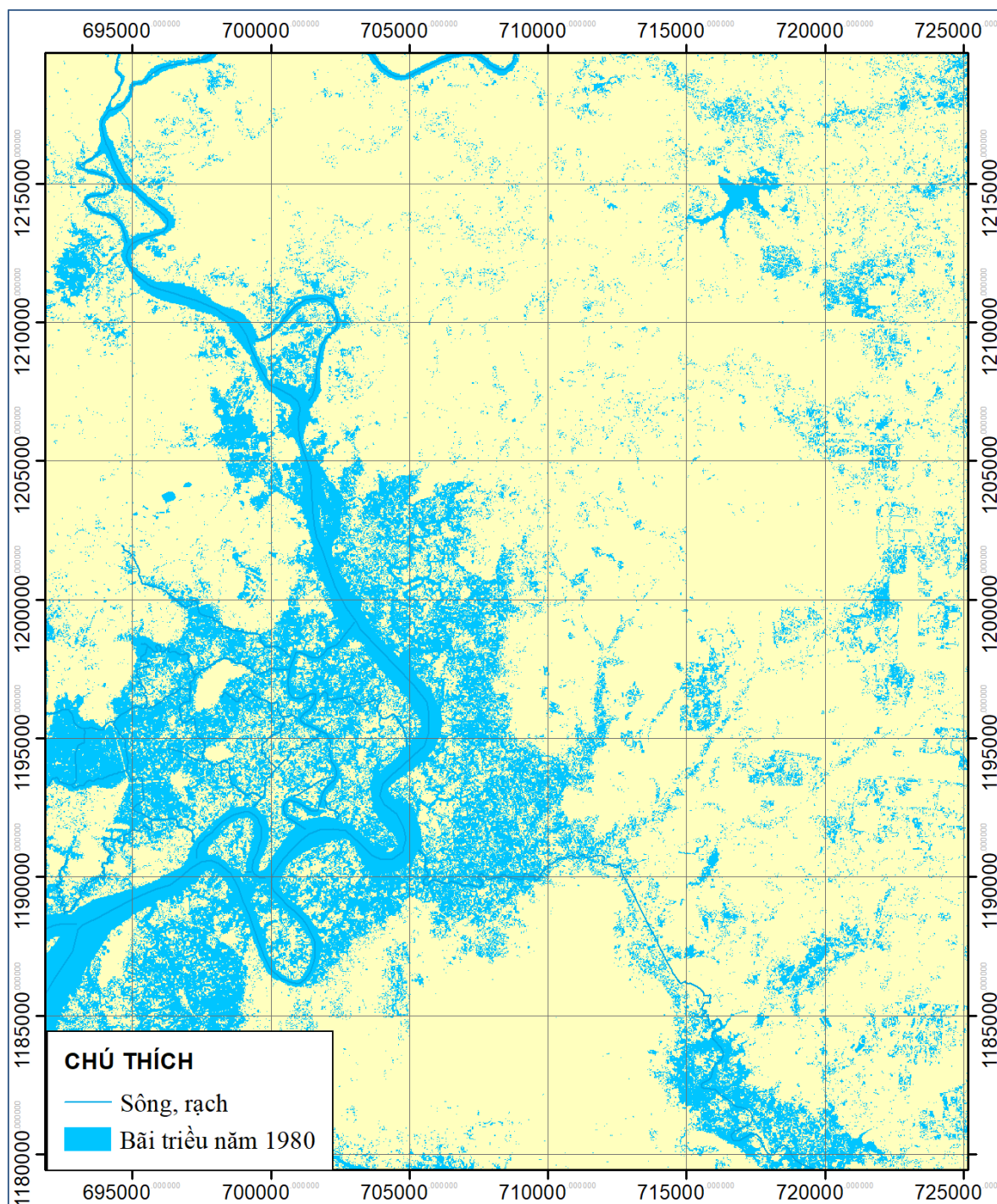


Phụ lục hình 6: Phân bố bãi triều hạ lưu sông Đồng Nai tính đến năm 1980



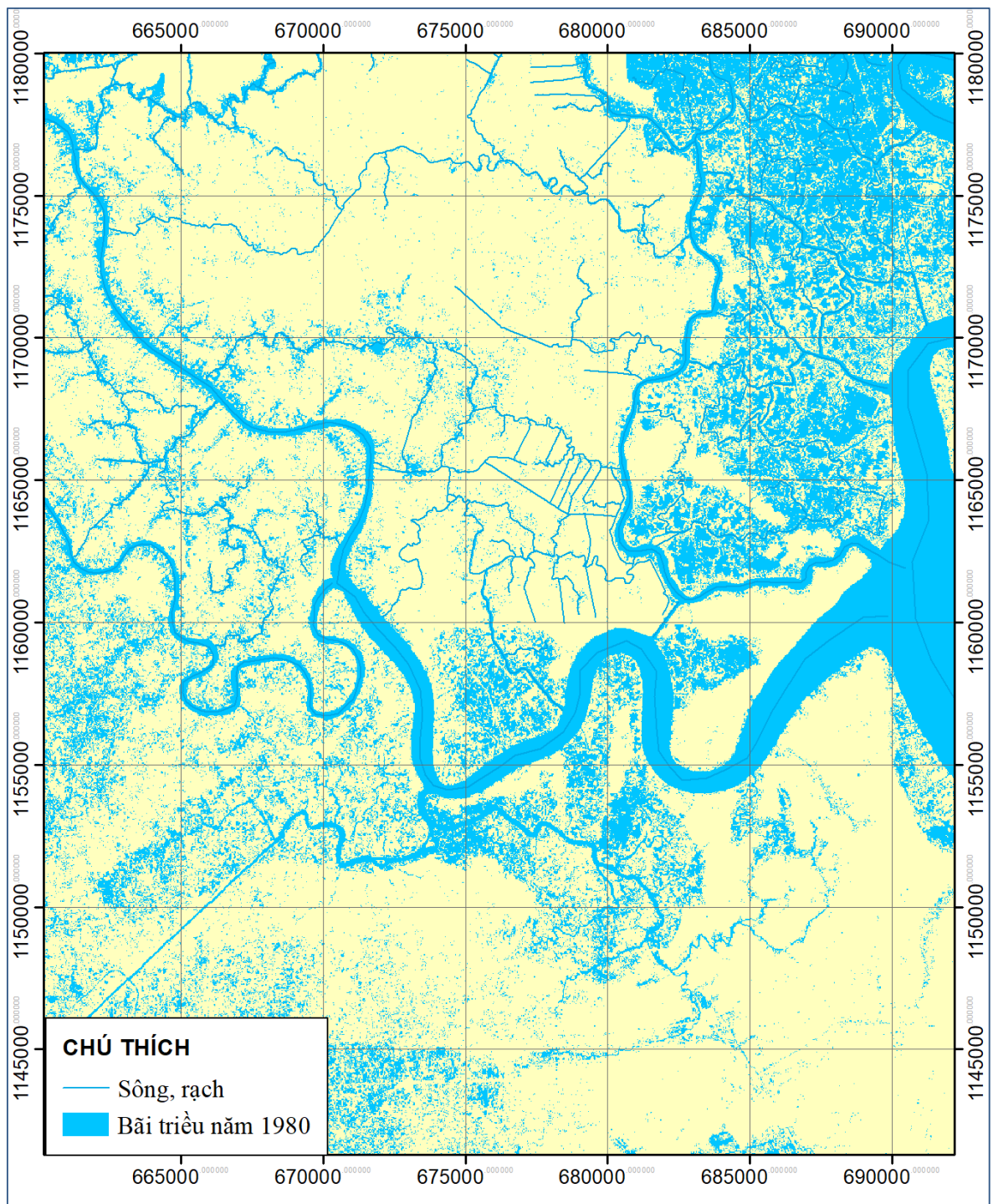


Phụ lục hình 7: Phân bố bãi triều khu vực sông Sài Gòn tính đến năm 1980

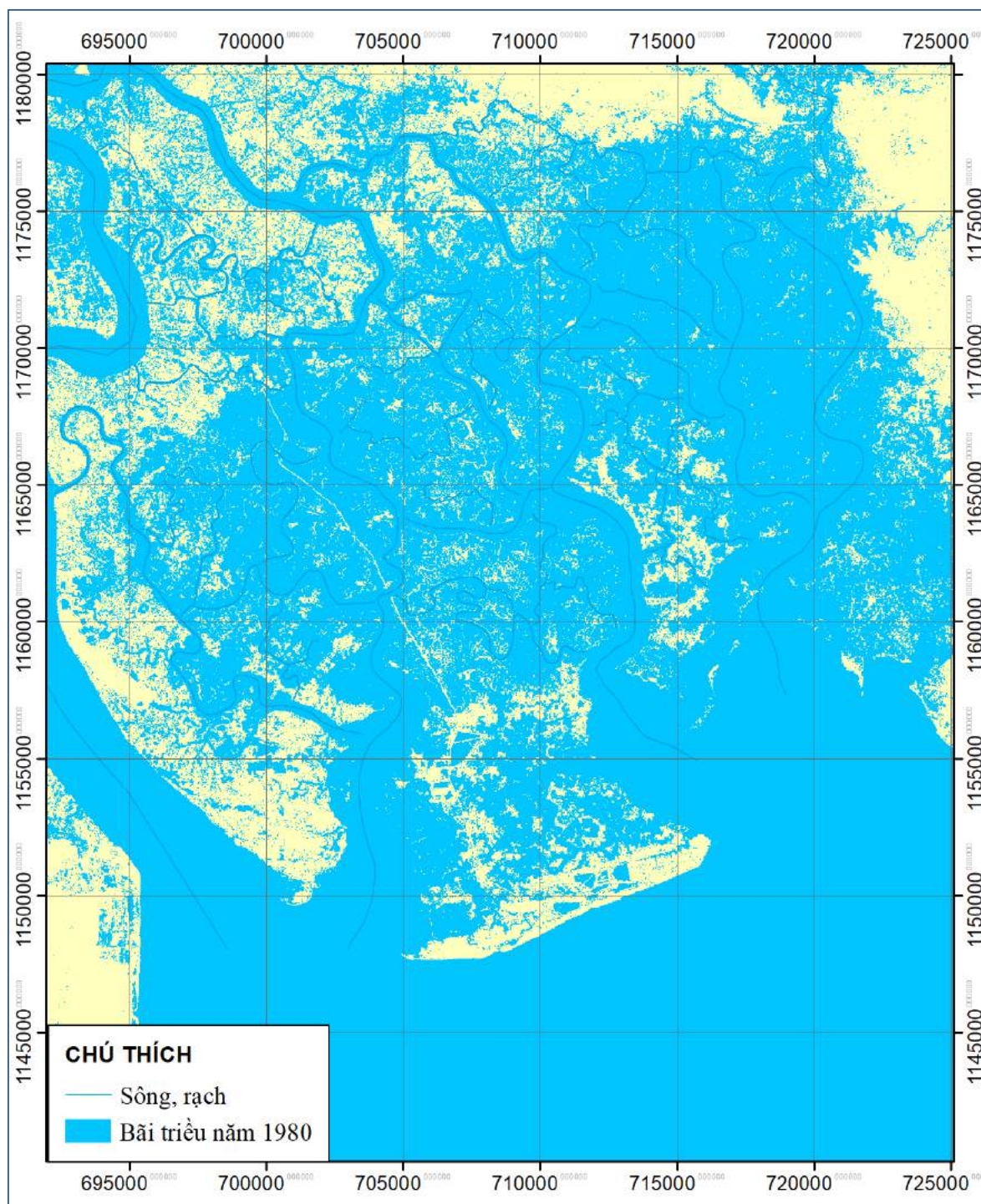


*Phụ lục hình 8: Phân bố bãi triều khu vực sông Đồng Nai tính đến năm 1980*





Phụ lục hình 9: Phân bố bãi triều khu vực Soài Rạp - Vàm Cỏ tính đến năm 1980



*Phụ lục hình 10: Phân bố bãi triều khu vực Cần Giờ tính đến năm 1980*

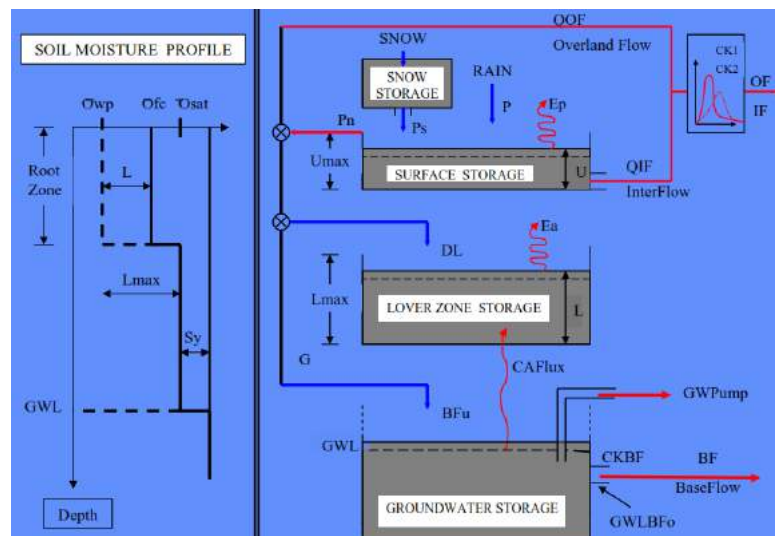


## PHỤ LỤC 2: Giới thiệu phần mềm áp dụng trong luận án

### Phần mềm NAM

Phần mềm thủy văn NAM mô phỏng quá trình lượng mưa, dòng chảy có thể áp dụng độc lập hoặc sử dụng cho một hoặc nhiều lưu vực tham gia, tạo ra dòng chảy bổ sung vào mạng lưới sông. Là phần mềm thủy văn mô phỏng quá trình mưa dòng chảy trên bề mặt lưu vực với 4 bể chứa được mô phỏng và sử dụng phương trình cân bằng nước để tính toán. Phần mềm NAM là một phần mềm tắt định, thông số tập trung. Phần mềm mô phỏng một cách liên tục quá trình mưa dòng chảy thông qua việc tính toán cân bằng nước ở 4 bể chứa thẳng đứng, có tác dụng qua lại lẫn nhau để diễn tả tính chất vật lý của lưu vực. Các bể chứa gồm:

- + Bể tuyết (chỉ áp dụng cho vùng có tuyết)
- + Bể mặt
- + Bể sát mặt hay tầng rễ cây
- + Bể ngầm



Phụ lục hình 11: Cấu trúc phần mềm NAM

Để tạo ra dòng chảy trên sông, tài liệu đầu vào phần mềm là mưa và bốc hơi, kết quả đầu ra được kiểm định với tài liệu thực đo. Phần mềm NAM chạy độc lập chỉ kiểm định được với lưu lượng, để có thể kiểm định với với mực nước thì phải sử dụng đồng thời NAM với MIKE 11.



## Phần mềm MIKE 11

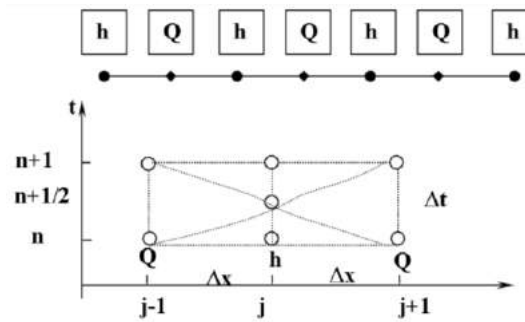
MIKE 11 - Phần mềm thủy động lực học chất lượng nước, là phần mềm kỹ thuật chuyên dụng của DHI (Viện Thủy lực Đan Mạch) để mô phỏng dòng chảy, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát trong sông, hệ thống tưới, kênh dẫn và ao hồ. MIKE 11 là phần mềm một chiều thủy động lực học và gần gũi với người sử dụng cho việc phân tích, thiết kế, quản lý và vận hành chi tiết hệ thống sông kênh đơn giản cũng như phức tạp. Với môi trường gần gũi với người sử dụng, tốc độ và tính khả thi của nó, MIKE 11 cung cấp cho việc tính toán hiệu quả và toàn diện, áp dụng cho việc nghiên cứu, quy hoạch và quản lý chất lượng, nguồn nước, và các công trình khai thác nguồn nước. Phần mềm thủy động lực học (HD), trên nền tảng giải hệ phương trình Saint Venant “phương trình liên tục (bảo toàn khối lượng) và phương trình chuyển động (bảo toàn động lượng)”. Với bộ phần mềm MIKE tương đối toàn diện, tính năng, hiệu quả truy cập thông tin và giao diện đồ họa sinh động của công nghệ GIS, có thể là sự kết hợp hoàn hảo trong vấn đề thiết kế, quy hoạch và quản lý tổng hợp nguồn nước.

Hệ phương trình Saint Venant một chiều mô tả dòng chảy:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = q$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{AC^2R} = 0$$

Q: lưu lượng qua mặt cắt ngang; A: diện tích dòng chảy; h: mực nước sông; q: lưu lượng gia nhập; C: hệ số sức cản Chezy; R: bán kính thủy lực; x: tọa độ dọc sông; t: thời gian.

Trong MIKE 11, hệ phương trình Saint Venant được giải bằng sơ đồ ẩn 6 điểm với tên gọi Abbott-Ionescu.



Phụ lục hình 12: Sơ đồ giải trong mô hình thủy lực MIKE11

### Phần mềm MIKE 21

Phần mềm MIKE 21 là phần mềm 2 chiều dùng để mô phỏng dòng chảy: lưu lượng, mực nước, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát trên sông, hồ, bãi triều và các vật thể khác. Đây là một phần mềm có phần giao diện và các tiện ích rất tốt. MIKE 21 là phần mềm 2 chiều dựa trên hệ phương trình với độ sâu trung bình, mô tả chuyển động của mực nước và vận tốc theo 2 chiều (vận tốc U và V) trên hệ tọa độ Decac.

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} U h + \frac{\partial}{\partial y} V h = F_s$$

Phương trình chuyển động theo 2 hướng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial s}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial s}{\partial x} + \frac{g}{C^2 d} U \sqrt{U^2 + V^2} + \frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial U}{\partial y}) &= F_s U_s \\ \frac{\partial s}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial s}{\partial y} + \frac{g}{C^2 d} V \sqrt{U^2 + V^2} + \frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial V}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial V}{\partial y}) &= F_s V_s \end{aligned}$$

Trong đó:

- s: là mực nước lên xuống;
- h: là tổng độ sâu mực nước;
- C: là hệ số Chezy;
- $K_{xx}$  và  $K_{yy}$ : là hệ số xoáy nhớt;
- $F_s$ : là nguồn;
- $V_s$  và  $U_s$ : là vận tốc ban đầu.

Kết quả của hệ phương trình trên có được từ một dạng khác của hệ phương trình sử dụng ô lưới C so le và thuật toán hai bước với ẩn không hoàn toàn được gọi là ADI

(Alternating Direction Implicit)- thuật toán luân hướng ẩn. Bằng việc viết lại giới hạn đôi lưu và ma sát, một kết quả thuyết phục hơn được đưa ra (Abbott và Rasmussen, 1977).

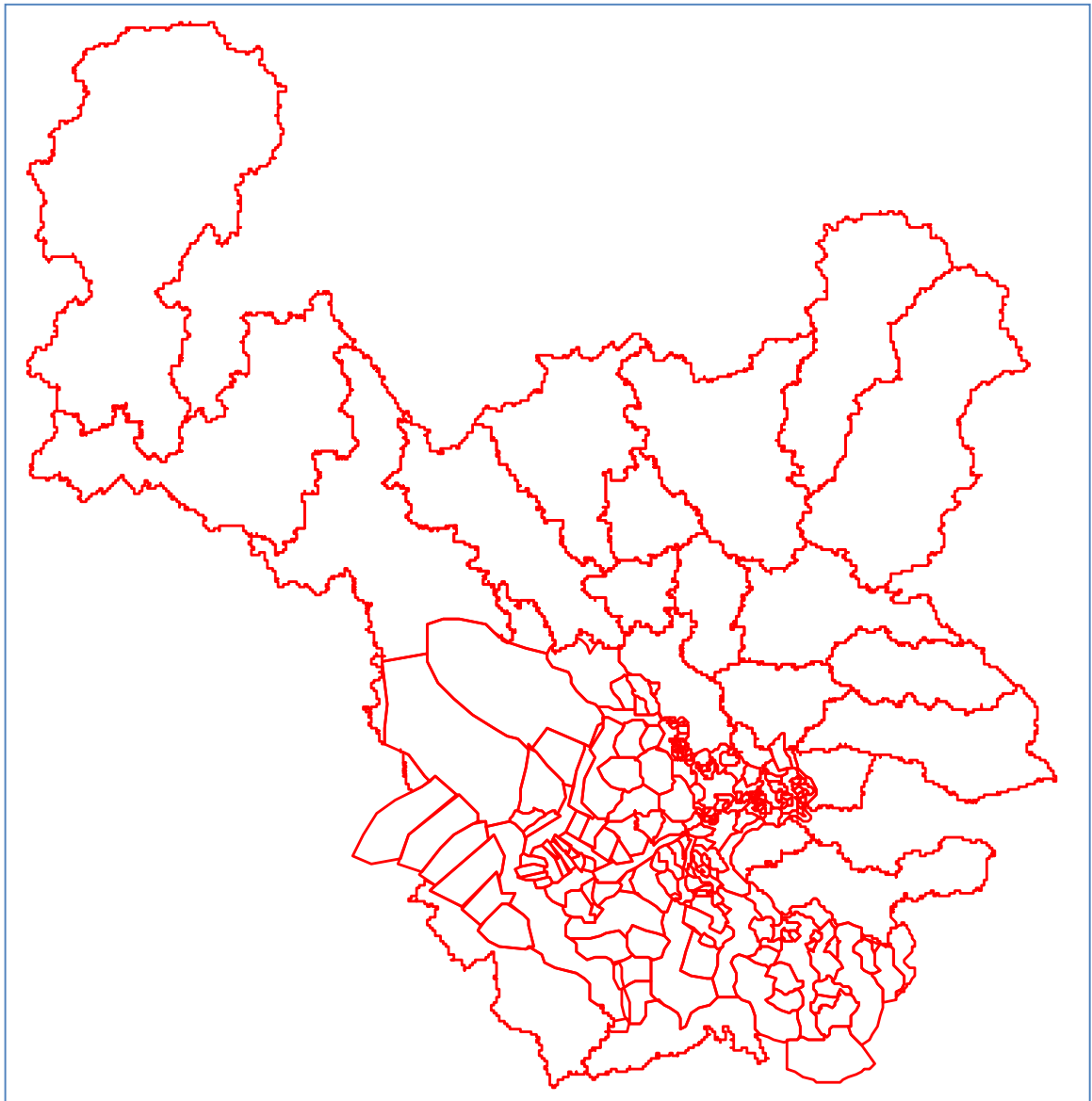
### **Phần mềm MIKE FLOOD**

Mike FLOOD được tích hợp từ phần mềm MIKE 11 và phần mềm MIKE 21. Các nhánh sông kênh của phần mềm MIKE 11 được liên kết với các ô của phần mềm MIKE 21.

### **PHỤ LỤC 3: Xây dựng mô hình thủy lực cho hạ lưu sông SG-ĐN**

#### **Mô hình NAM**

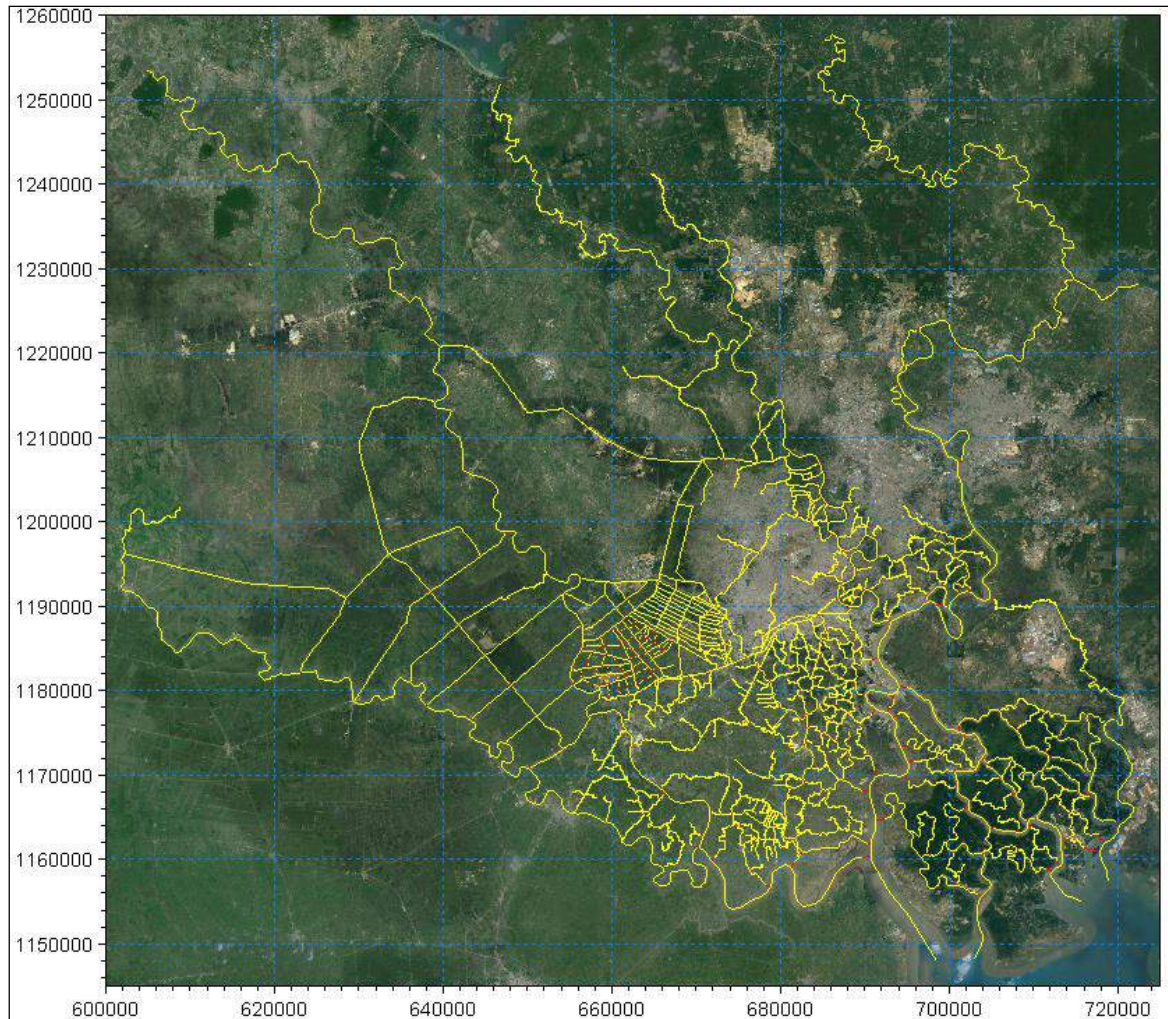
- Toàn bộ hạ lưu sông SG-ĐN được chia nhỏ dựa theo tính chất của địa hình, thủy văn. Vùng hạ lưu SG-ĐN được chia thành 213 tiểu lưu vực trong đó tập trung chia nhỏ trong khu vực đô thị để tính toán mưa rào dòng chảy.
- Tài liệu mưa đầu vào (mưa) được lấy từ các trạm đo, tính toán mưa cho các lưu vực được tính theo phương pháp đa giác Thiessen.



*Phụ lục hình 13: Phân chia lưu vực trong mô hình mưa-vùng hạ lưu*

### Mô hình MIKE 11

- Phạm vi sơ đồ tính của mô hình 1 chiều (MIKE 11) từ hồ Dầu Tiếng, Trị An, đập Phước Hòa, trạm thủy văn Cần Đăng và Mộc Hóa ra tới biển Đông.
- Sơ đồ thủy lực bao gồm 255 nhánh sông với tổng chiều dài là 2.341.639 m. Tổng số mặt cắt sử dụng trong mô hình là 1.076 mặt cắt.

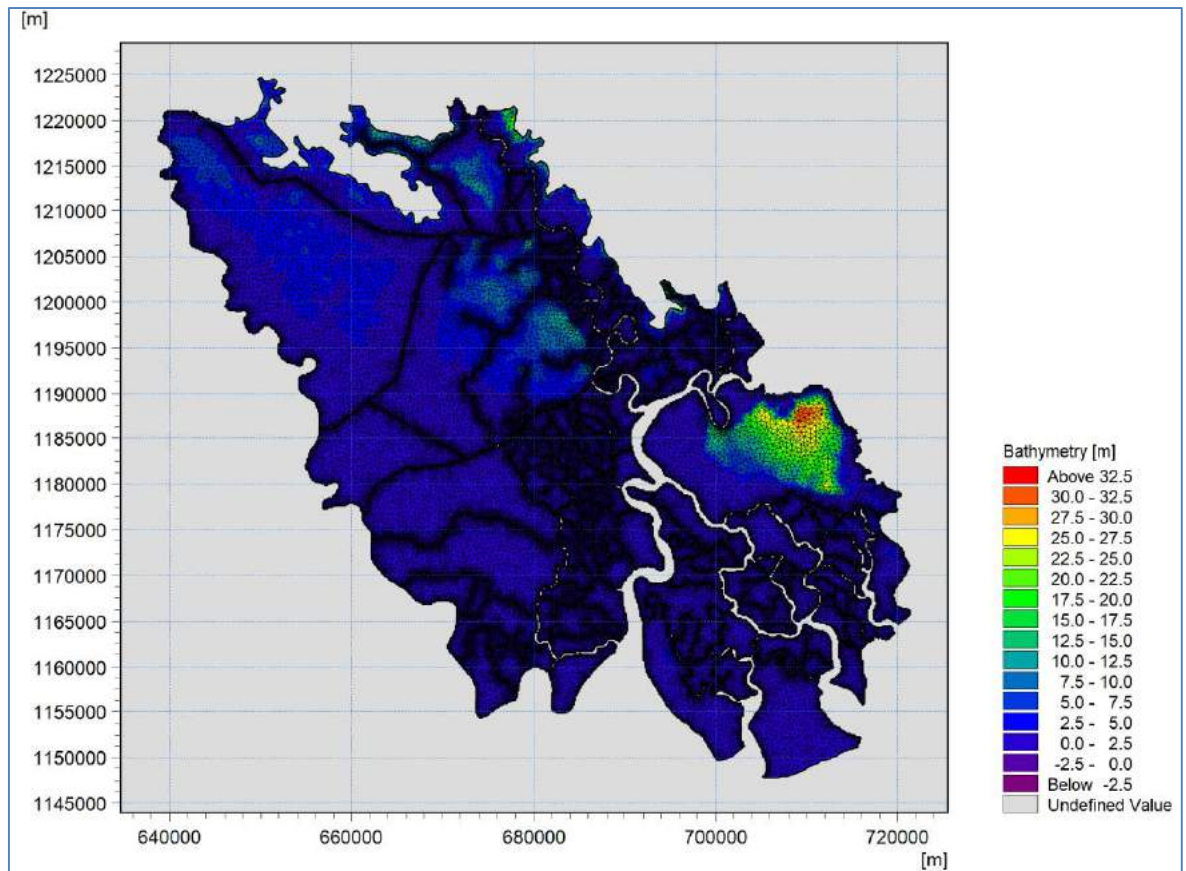


*Phụ lục hình 14: Sơ đồ thủy lực một chiều khu vực hạ lưu SG-ĐN*

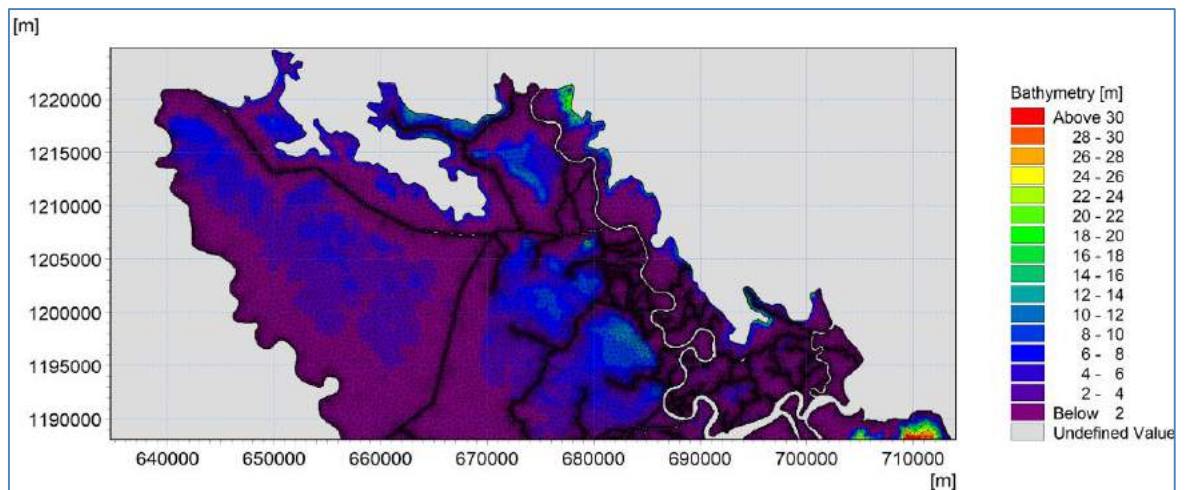
### Mô hình MIKE 21

- Mô hình 2 chiều MIKE21 được thiết lập cho toàn bộ bãi triều và những khu vực có khả năng ngập trong những năm lũ lớn và triều cường. Sử dụng lưới cách chia lưới linh hoạt phi cấu trúc (lưới tam giác), diện tích ô lưới nhỏ nhất là 1.500m<sup>2</sup>, diện tích ô lưới lớn nhất là 54.000m<sup>2</sup>, toàn bộ vùng nghiên cứu được chia thành 159.345 ô lưới.

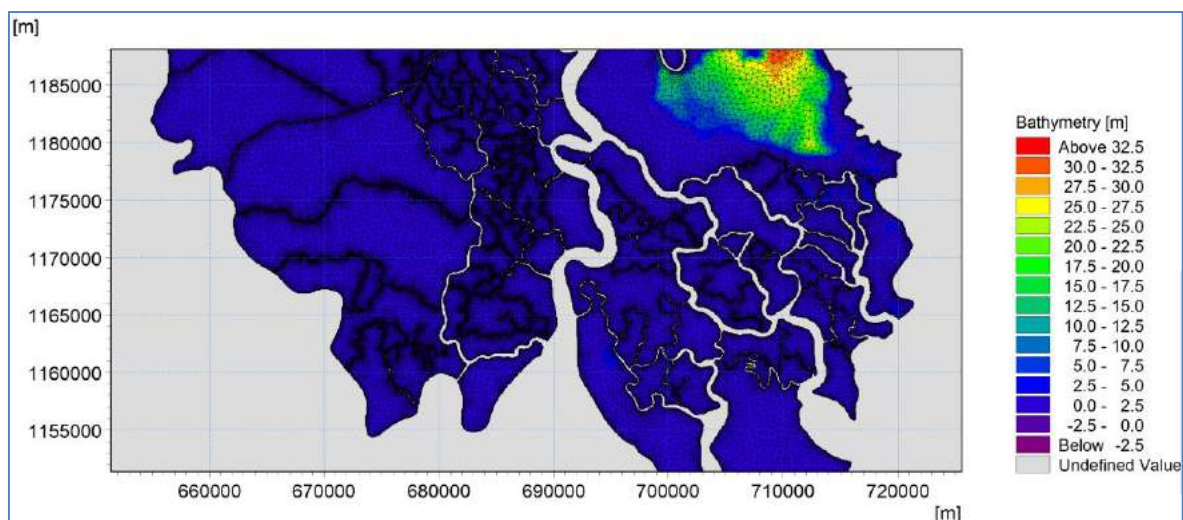




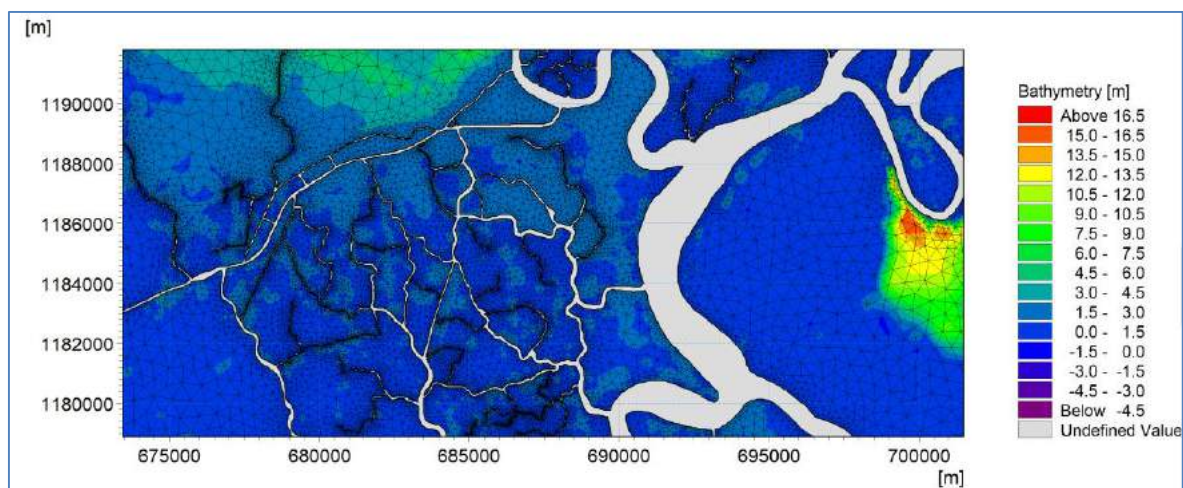
Phụ lục hình 15: Chi tiết sơ đồ thủy lực 2 chiều (MIKE 21) hạ lưu sông SG-DN



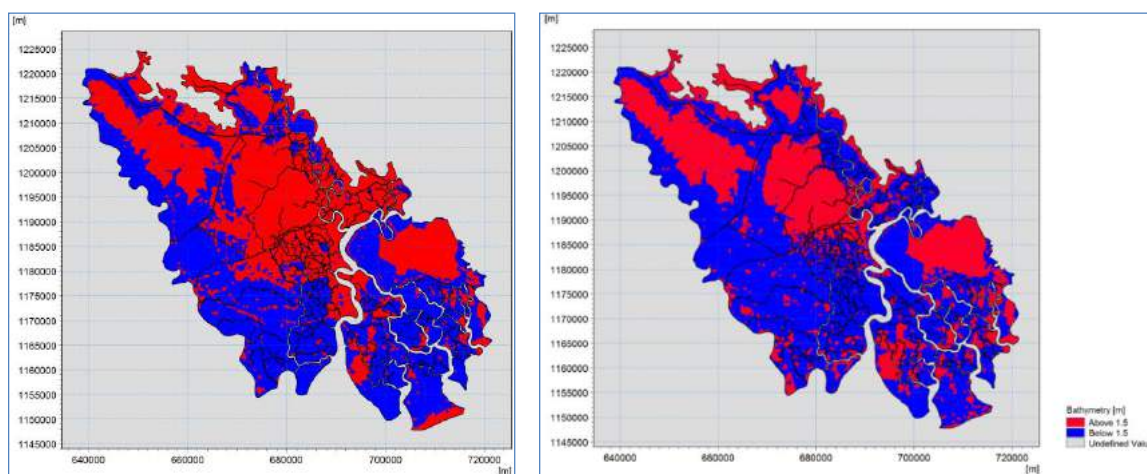
Phụ lục hình 16: Chi tiết sơ đồ thủy lực 2 chiều (MIKE 21) từ cửa sông Sài Gòn lên thượng lưu



Phụ lục hình 17: Chi tiết sơ đồ thủy lực 2 chiều từ cửa sông Sài Gòn xuống hạ lưu



Phụ lục hình 18: Địa hình các bãi triều trong sơ đồ thủy lực 2 chiều (MIKE 21)



Địa hình theo sử dụng đất năm 2015

Địa hình theo sử dụng đất năm 2000

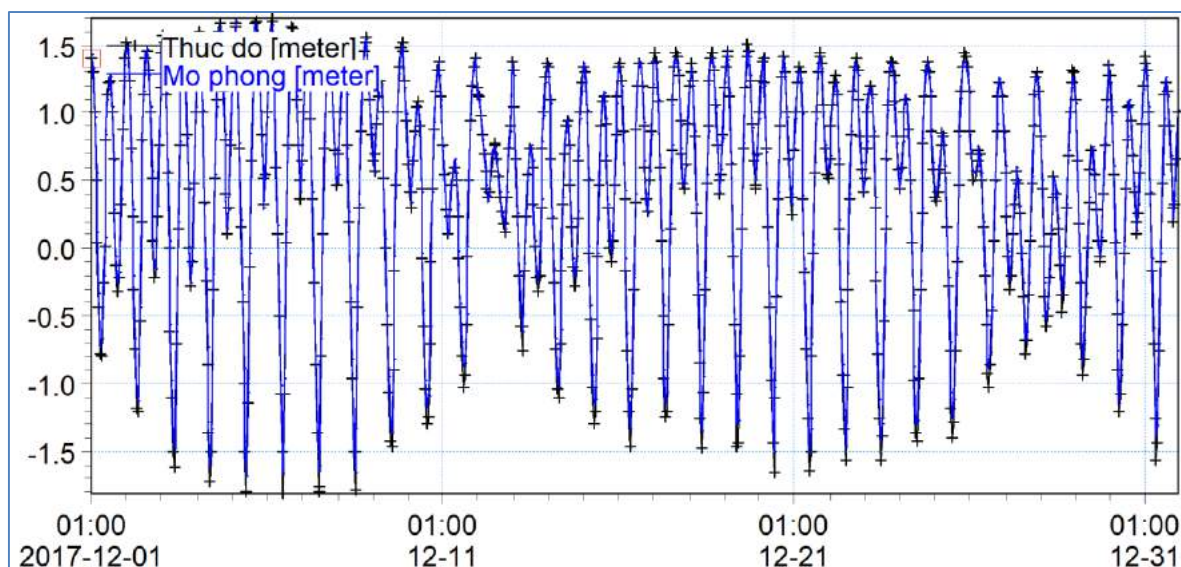
Phụ lục hình 19: Địa hình theo sử dụng đất trong sơ đồ thủy lực 2 chiều



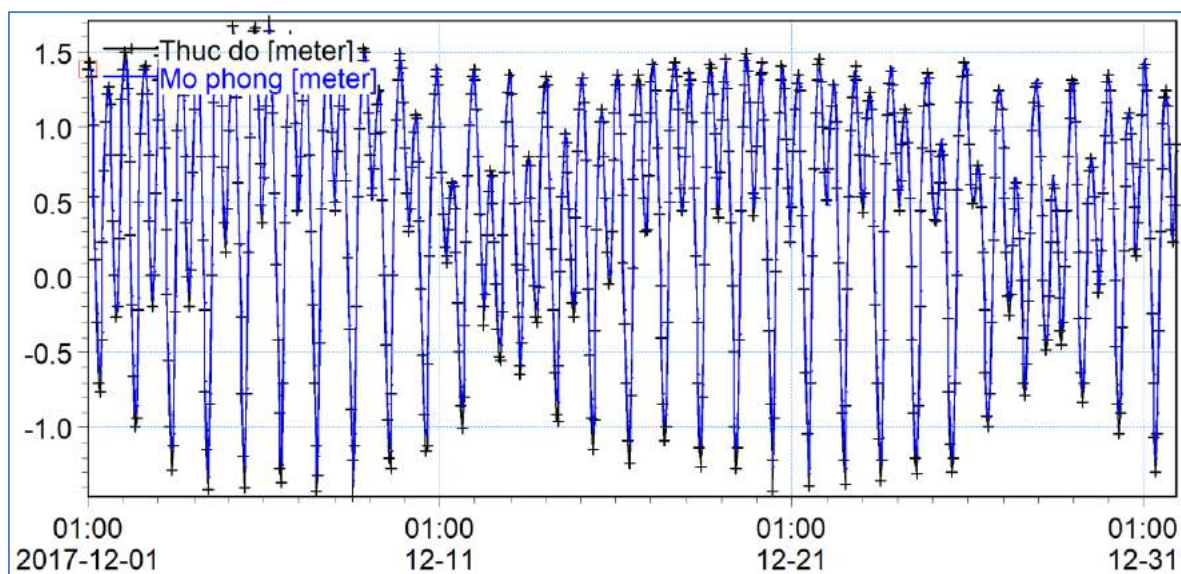
## PHỤ LỤC 4: Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

### Hiệu chỉnh mô hình

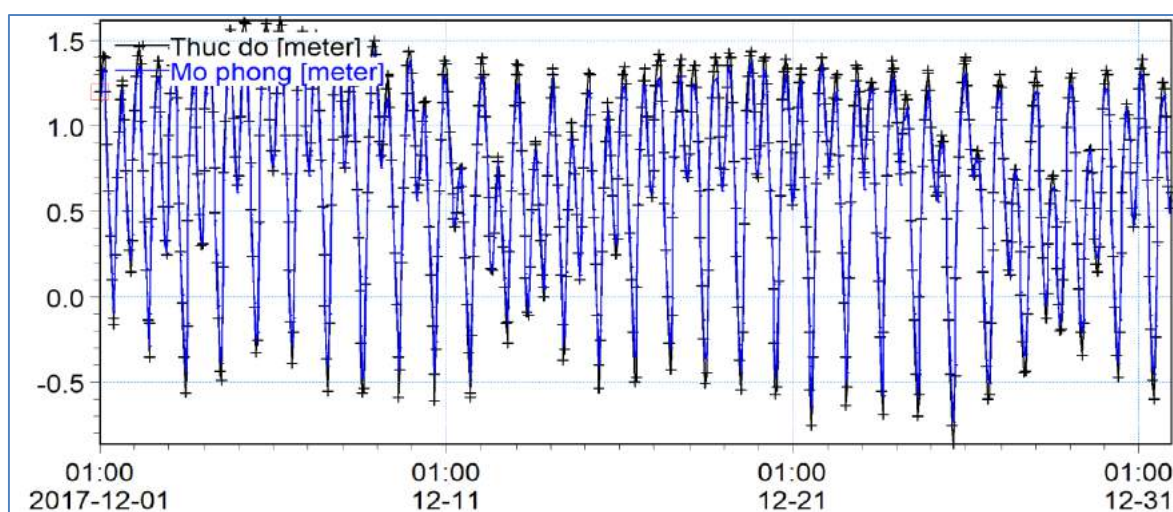
Sử dụng tháng 12 năm 2017 là thời kỳ có mực nước đỉnh triều cao tại Phú An đạt +1,71m. Kết quả hiệu chỉnh mô hình như sau:



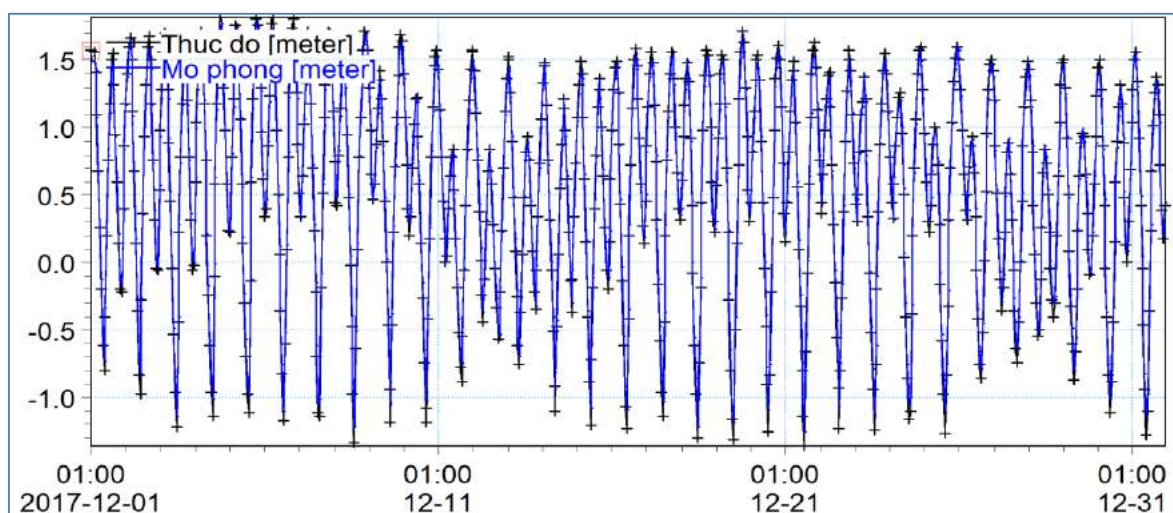
*Phụ lục hình 20: Mực nước mô phỏng và thực đo năm 2017 trạm Nhà Bè*



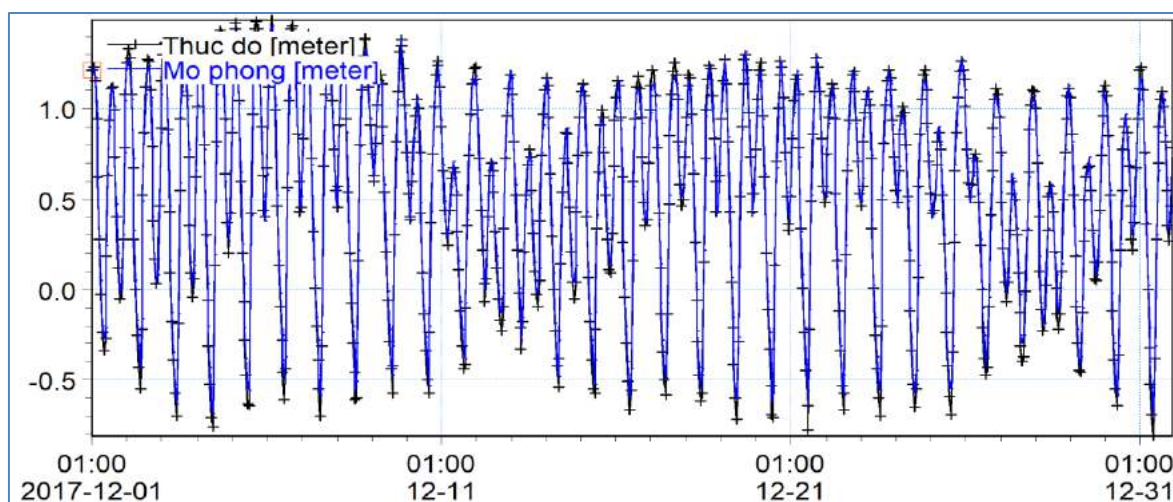
*Phụ lục hình 21: Mực nước mô phỏng và thực đo năm 2017 trạm Phú An*



Phụ lục hình 22: Mức nước mô phỏng và thực đo năm 2017 trạm Thử Dầu Một



Phụ lục hình 23: Mức nước mô phỏng và thực đo năm 2017 trạm Biên Hòa



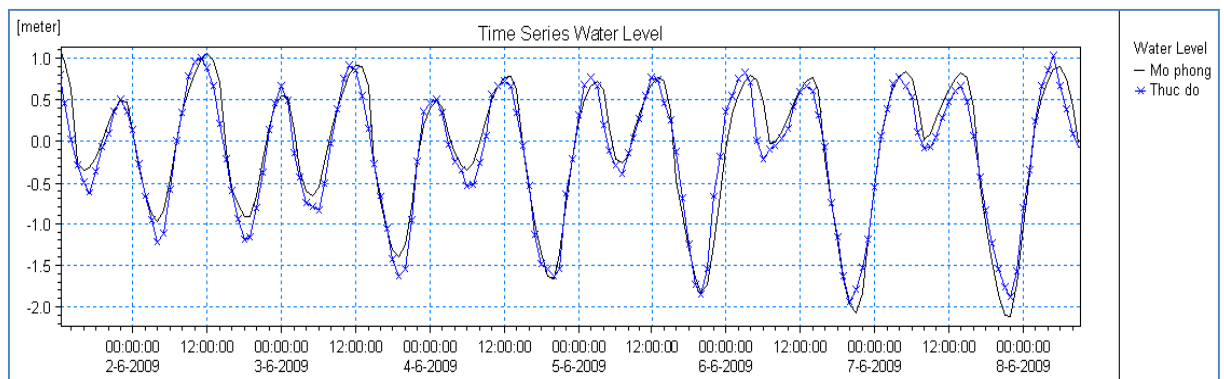
Phụ lục hình 24: Mức nước mô phỏng và thực đo năm 2017 trạm Bến Lức

*Phụ lục bảng 1: Thông số phân tích trong hiệu chỉnh mực nước năm 2017*

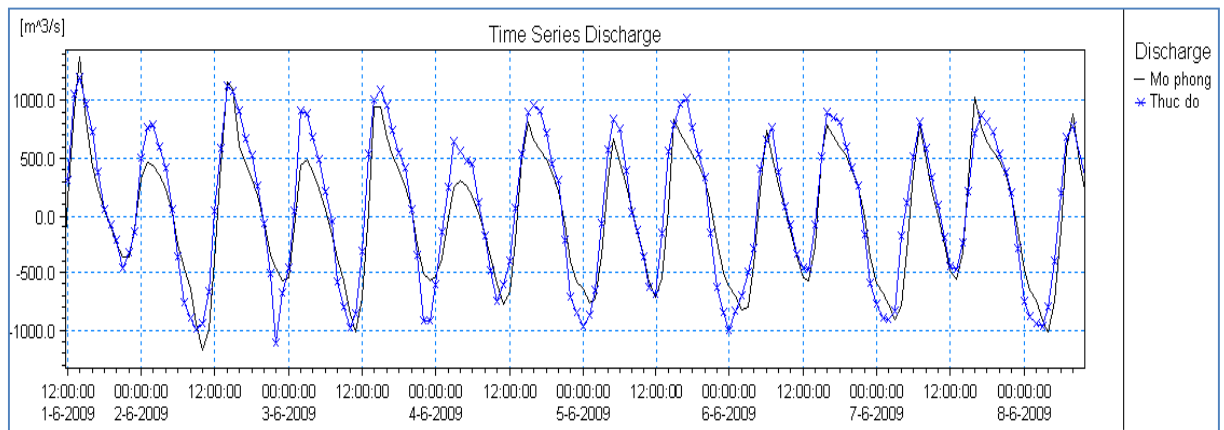
| Stt | Trạm        | Sông        | Thời gian | Hệ số Nash | Hệ số tương quan | Sai số đỉnh (%) |
|-----|-------------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------------|
| 1   | Nhà Bè      | Đồng Nai    | 12/2017   | 0,957      | 0,983            | -0,034          |
| 2   | Phú An      | Sài gòn     | 12/2017   | 0,962      | 0,987            | 0,030           |
| 3   | Thủ Dầu Một | Sài gòn     | 12/2017   | 0,931      | 0,941            | 0,076           |
| 4   | Biên Hòa    | Đồng Nai    | 12/2017   | 0,955      | 0,980            | 0,043           |
| 5   | Bến Lức     | Vàm Cỏ Đông | 12/2017   | 0,941      | 0,956            | -0,063          |

Việc hiệu chỉnh mô hình thủy lực được thực hiện trên sông chính tại các trạm thủy văn Quốc Gia nên kết quả kiểm định là tương đối tốt. Hệ số tương quan từ 0,941 đến 0,987, hệ số Nash từ 0,931 đến 0,962.

Kết quả hiệu chỉnh mô hình với tài liệu lưu lượng và mực nước tại 22 vị trí đo đặc năm 2009 như sau:



*Phụ lục hình 25: Mực nước mô phỏng và thực đo tại vị trí Thủ Bộ*



*Phụ lục hình 26: Lưu lượng mô phỏng và thực đo tại vị trí Thủ Bộ*



*Phụ lục bảng 2: Thông số phân tích trong hiệu chỉnh mực nước ngày 02-08/6/2009*

| Stt | Trạm        | Thời gian    | Hệ số Nash | Hệ số tương quan | Sai số đỉnh (%) |
|-----|-------------|--------------|------------|------------------|-----------------|
| 1   | Bình Điền   | 02-08/6/2009 | 0,958      | 0,967            | 0,180           |
| 2   | Cần Giuộc   | 02-08/6/2009 | 0,902      | 0,963            | -0,098          |
| 3   | Cầu Sập     | 02-08/6/2009 | 0,887      | 0,922            | -0,081          |
| 4   | Mã Voi      | 02-08/6/2009 | 0,918      | 0,924            | -0,112          |
| 5   | Bà Lớn      | 02-08/6/2009 | 0,872      | 0,898            | -0,133          |
| 6   | Xóm Cui     | 02-08/6/2009 | 0,874      | 0,926            | -0,024          |
| 7   | Ông Bé      | 02-08/6/2009 | 0,912      | 0,981            | -0,028          |
| 8   | Ông Lớn     | 02-08/6/2009 | 0,933      | 0,972            | -0,053          |
| 9   | Rạch Đĩa    | 02-08/6/2009 | 0,941      | 0,986            | -0,046          |
| 10  | Thầy Tiêu   | 02-08/6/2009 | 0,920      | 0,991            | 0,075           |
| 11  | An Hạ       | 02-08/6/2009 | 0,931      | 0,942            | -0,030          |
| 12  | Thủ Bộ      | 02-08/6/2009 | 0,882      | 0,969            | -0,089          |
| 13  | Kênh Hàng   | 02-08/6/2009 | 0,893      | 0,981            | -0,045          |
| 14  | Kinh Lộ     | 02-08/6/2009 | 0,910      | 0,964            | -0,079          |
| 15  | Sông Kinh   | 02-08/6/2009 | 0,901      | 0,986            | 0,010           |
| 16  | Mương Chuối | 02-08/6/2009 | 0,978      | 0,983            | -0,100          |
| 17  | Phú Xuân    | 02-08/6/2009 | 0,951      | 0,987            | -0,049          |
| 18  | Tân Thuận   | 02-08/6/2009 | 0,956      | 0,959            | -0,042          |
| 19  | Vàm Thuật   | 02-08/6/2009 | 0,967      | 0,967            | 0,086           |
| 20  | Rạch Tra    | 02-08/6/2009 | 0,940      | 0,991            | 0,006           |
| 21  | Kinh xáng   | 02-08/6/2009 | 0,926      | 0,963            | -0,051          |
| 22  | Bến Lức     | 02-08/6/2009 | 0,929      | 0,975            | -0,102          |

Hệ số tương quan trong hiệu chỉnh mực nước tương đối tốt, hệ số tương quan lớn nhất tại trạm Thầy Tiêu và Rạch Tra đạt 0,991, thấp nhất là trong khu vực nội vùng dọc theo đường Nguyễn Văn Linh như trên cầu Bà Lớn hệ số này chỉ đạt 0,898. Hệ số Nash khá cao từ 0,872 đến 0,978. Về sai số đỉnh cung cho thấy càng vào sâu trong

vùng nghiên cứu thì sai số càng nhiều. Tuy nhiên, sai số này vẫn trong giới hạn chấp nhận được trong tính toán.

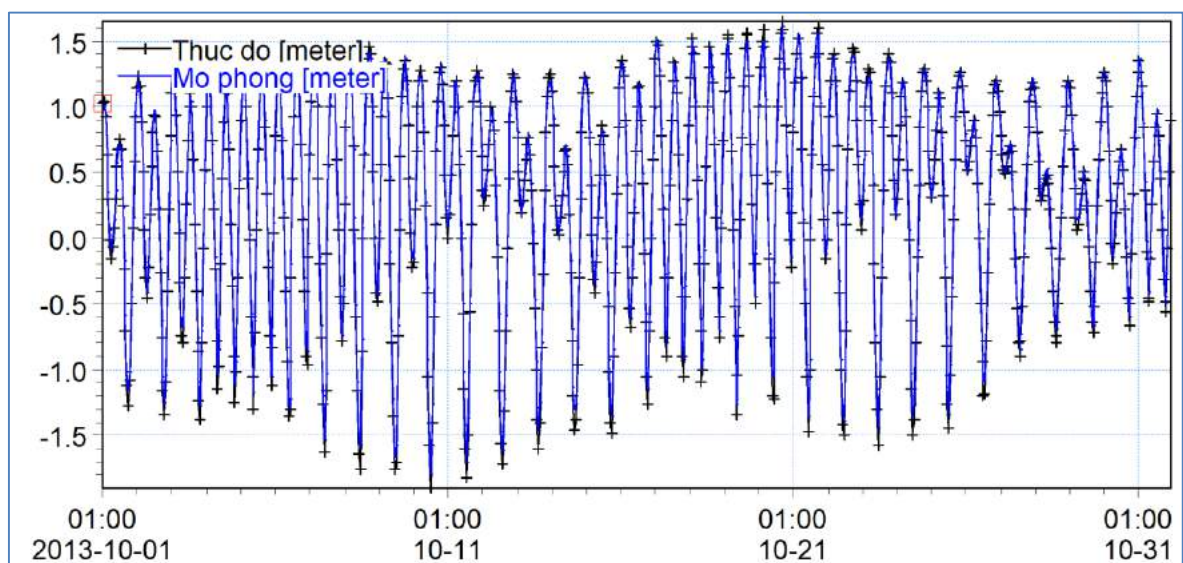
*Phụ lục bảng 3: Thông số phân tích trong hiệu chỉnh lưu lượng ngày 02-08/6/2009*

| Stt | Trạm        | Thời gian    | Hệ số Nash | Hệ số tương quan | Sai số đỉnh (%) | Sai số tổng lượng (%) |
|-----|-------------|--------------|------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| 1   | Bình Điền   | 02-08/6/2009 | 0,904      | 0,947            | -0,365          | 0,523                 |
| 2   | Cần Giuộc   | 02-08/6/2009 | 0,821      | 0,847            | -0,236          | 0,595                 |
| 3   | Cầu Sập     | 02-08/6/2009 | 0,883      | 0,897            | 0,330           | 0,450                 |
| 4   | Mã Voi      | 02-08/6/2009 | 0,876      | 0,935            | 0,505           | 0,553                 |
| 5   | Bà Lớn      | 02-08/6/2009 | 0,770      | 0,826            | -0,357          | 0,530                 |
| 6   | Xóm Cùi     | 02-08/6/2009 | 0,836      | 0,888            | -0,400          | 0,467                 |
| 7   | Ông Bé      | 02-08/6/2009 | 0,717      | 0,798            | -0,309          | 0,940                 |
| 8   | Ông Lớn     | 02-08/6/2009 | 0,875      | 0,924            | -0,154          | 0,377                 |
| 9   | Rạch Địa    | 02-08/6/2009 | 0,841      | 0,913            | 0,509           | 0,656                 |
| 10  | Thầy Tiêu   | 02-08/6/2009 | 0,752      | 0,824            | 0,434           | 0,589                 |
| 11  | An Hạ       | 02-08/6/2009 | 0,900      | 0,944            | 0,144           | 0,458                 |
| 12  | Thủ Bộ      | 02-08/6/2009 | 0,851      | 0,873            | -0,159          | 0,437                 |
| 13  | Kênh Hàng   | 02-08/6/2009 | 0,819      | 0,823            | -0,319          | 0,512                 |
| 14  | Kinh Lộ     | 02-08/6/2009 | 0,863      | 0,870            | -0,196          | 0,450                 |
| 15  | Sông Kinh   | 02-08/6/2009 | 0,823      | 0,882            | -0,269          | 0,610                 |
| 16  | Mương Chuối | 02-08/6/2009 | 0,828      | 0,890            | -0,094          | 0,399                 |
| 17  | Phú Xuân    | 02-08/6/2009 | 0,849      | 0,938            | -0,022          | 0,434                 |
| 18  | Tân Thuận   | 02-08/6/2009 | 0,771      | 0,804            | -0,044          | 0,766                 |
| 19  | Vàm Thuật   | 02-08/6/2009 | 0,820      | 0,896            | 0,342           | 0,380                 |
| 20  | Rạch Tra    | 02-08/6/2009 | 0,878      | 0,950            | -0,220          | 0,286                 |
| 21  | Kinh xáng   | 02-08/6/2009 | 0,905      | 0,934            | -0,018          | 0,296                 |
| 22  | Bến Lức     | 02-08/6/2009 | 0,918      | 0,922            | 0,133           | 0,315                 |

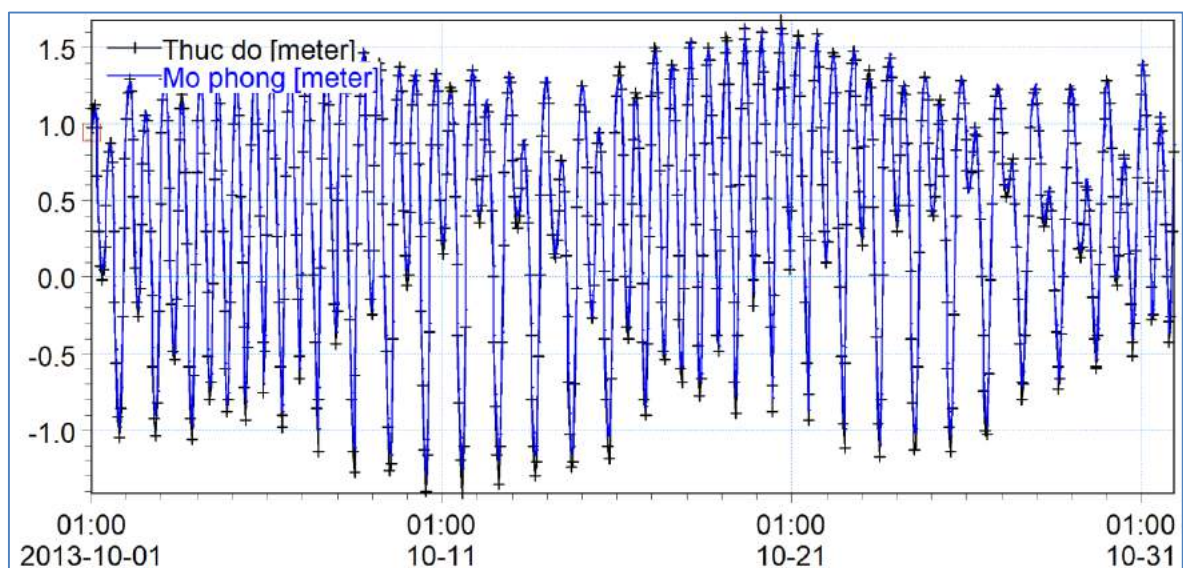
Đối với hiệu chỉnh lưu lượng, hệ số tương quan trong hiệu chỉnh lưu lượng từ 0,804 -0,950, thấp nhất là trong khu vực nội vùng dọc theo đường Nguyễn Văn Linh. Hệ số Nash là chấp nhận được từ 0,717 đến 0,918.

### Kiểm định mô hình thủy lực

Trên cơ sở bộ thông số của việc hiệu chỉnh mô hình, lựa chọn tháng 10 năm 2013 cũng là thời kỳ có đỉnh triều cao nhất tại Phú An đạt +1,68m để kiểm định mô hình. Sau khi kiểm định mô hình tại các vị trí trạm thủy văn Quốc Gia. Kết quả kiểm định như sau:

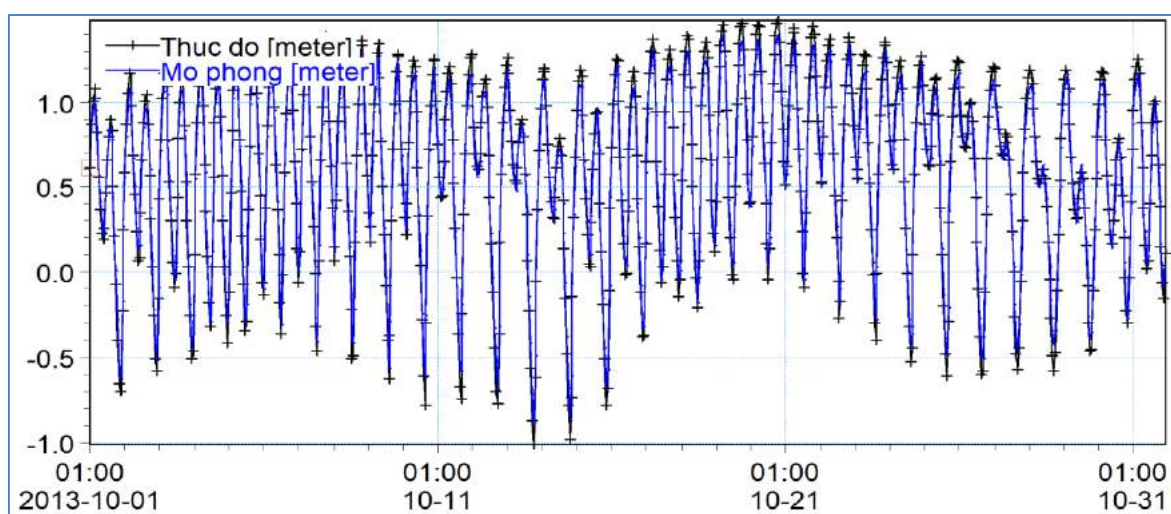


*Phụ lục hình 27: Mực nước mô phỏng và thực đo tại Nhà Bè năm 2013*

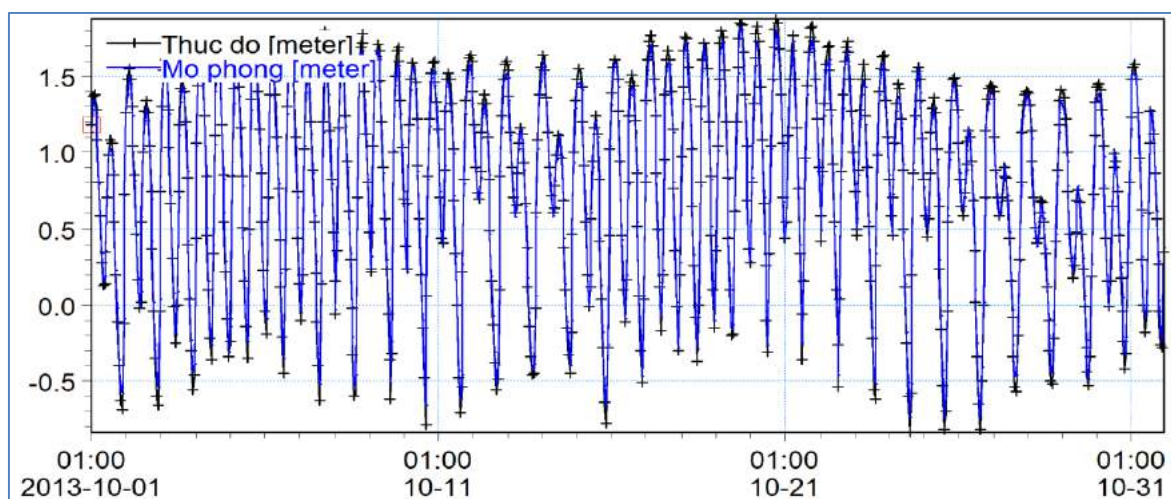


*Phụ lục hình 28: Mực nước mô phỏng và thực đo tại Phú An năm 2013*

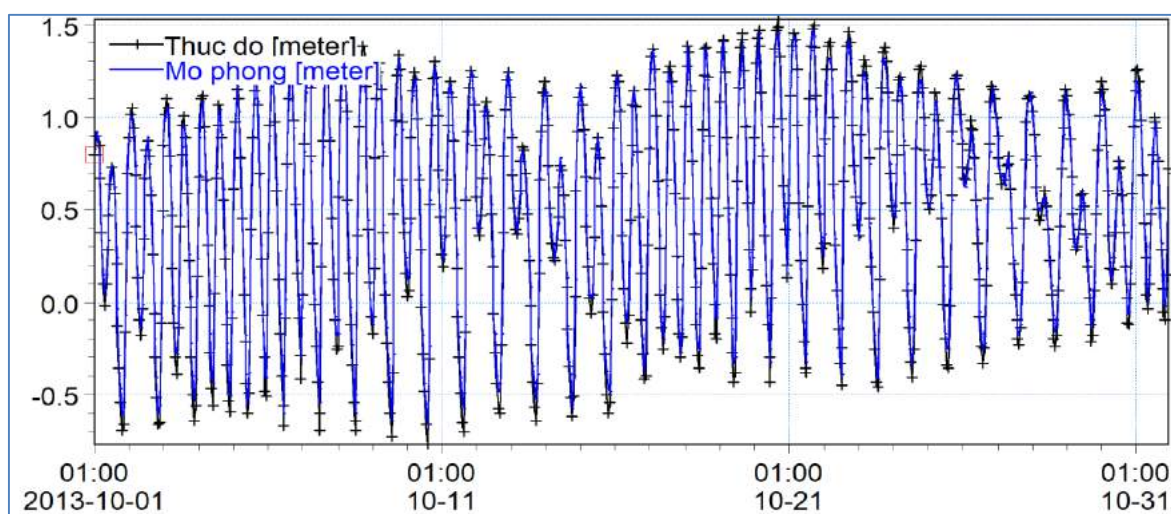




Phụ lục hình 29: Mực nước mô phỏng và thực đo tại Thủ Dầu Một năm 2013



Phụ lục hình 30: Mực nước mô phỏng và thực đo tại Biên Hòa năm 2013



Phụ lục hình 31: Mực nước mô phỏng và thực đo tại Bến Lức năm 2013

*Phụ lục bảng 4: Thông số phân tích trong kiểm định mực nước năm 2013*

| Stt | Trạm        | Sông        | Thời gian | Hệ số Nash | Hệ số tương quan | Sai số đỉnh (%) |
|-----|-------------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------------|
| 1   | Nhà Bè      | Đồng Nai    | 10/2013   | 0,938      | 0,944            | -0,094          |
| 2   | Phú An      | Sài gòn     | 10/2013   | 0,951      | 0,941            | 0,080           |
| 3   | Thủ Dầu Một | Sài gòn     | 10/2013   | 0,919      | 0,923            | 0,122           |
| 4   | Biên Hòa    | Đồng Nai    | 10/2013   | 0,925      | 0,928            | 0,113           |
| 5   | Bến Lức     | Vàm Cỏ Đông | 10/2013   | 0,921      | 0,926            | -0,103          |

Nhìn chung, kết quả kiểm định mô hình với mực nước trên sông chính là rất tốt, sai số về đỉnh và chân là không đáng kể. Sự lệch pha về mực nước giữa mô phỏng và thực đo không nhiều. Hệ số tương quan từ 0,923 đến 0,944, hệ số Nash từ 0,919 đến 0,951.



*Phụ lục hình 32: Các khu vực giả thiết bãi triều tại Phú An*

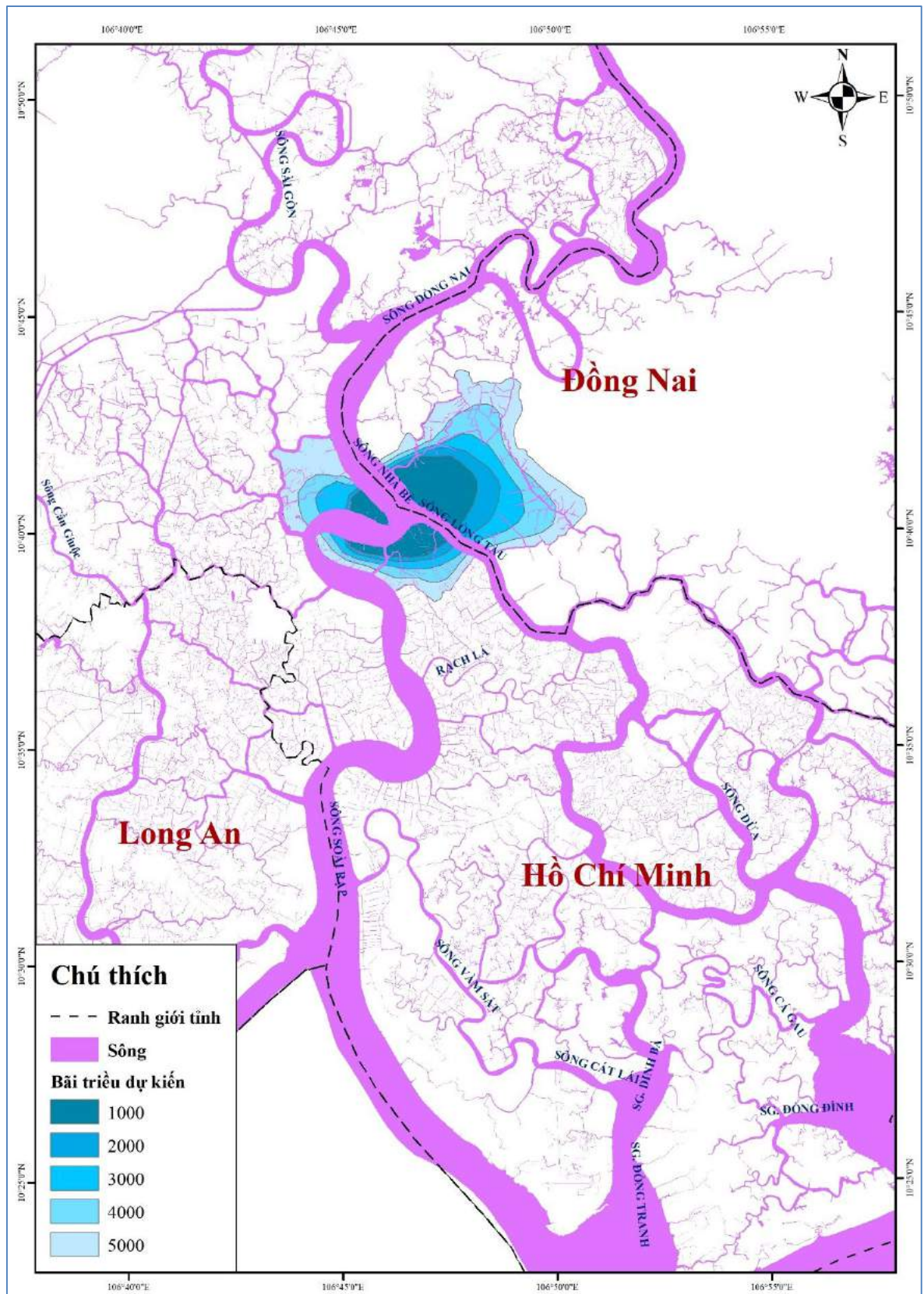
*Phụ lục hình 33: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 5 km*



*Phụ lục hình 34: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 10 km*

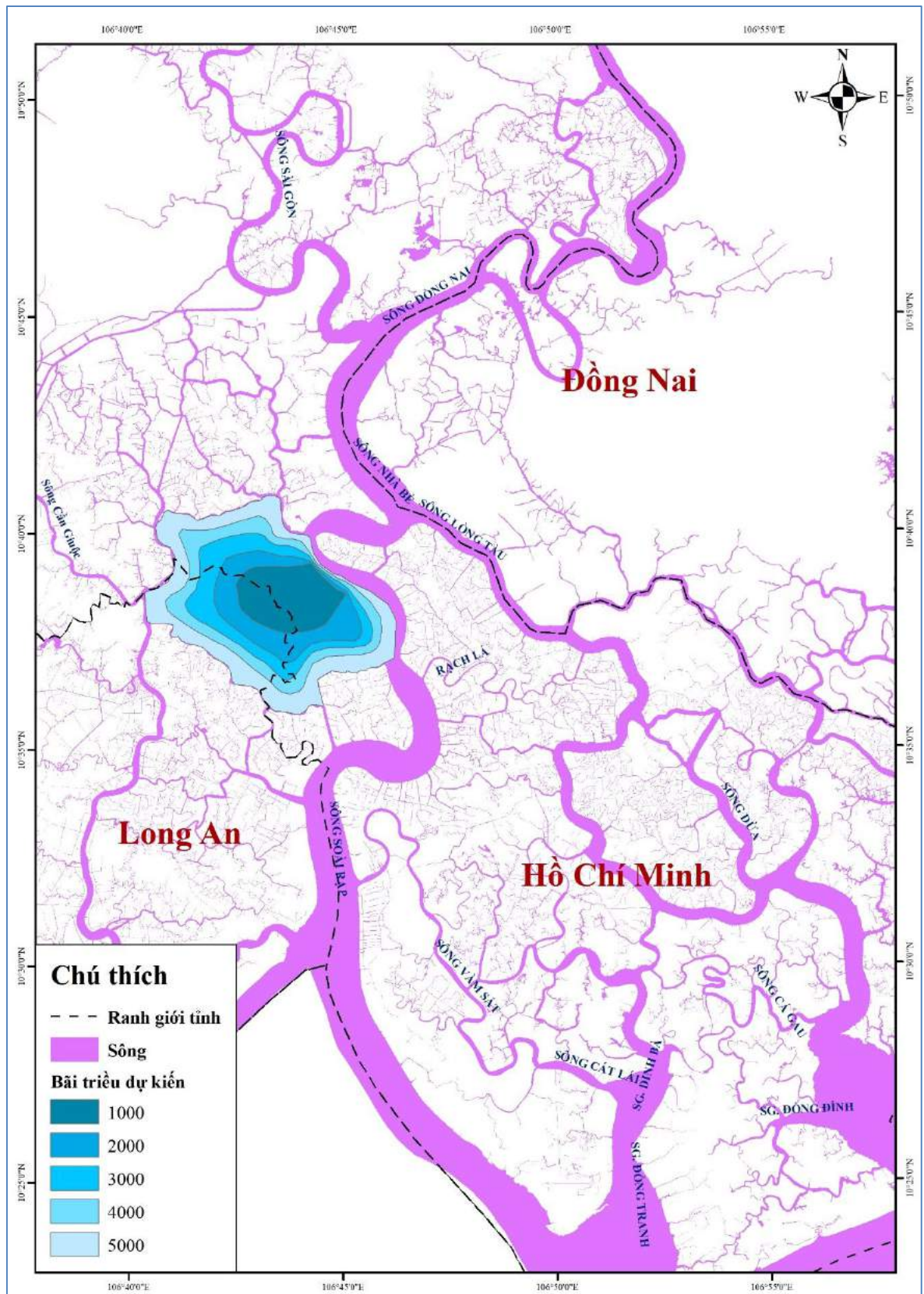
*Phụ lục hình 35: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 15 km*



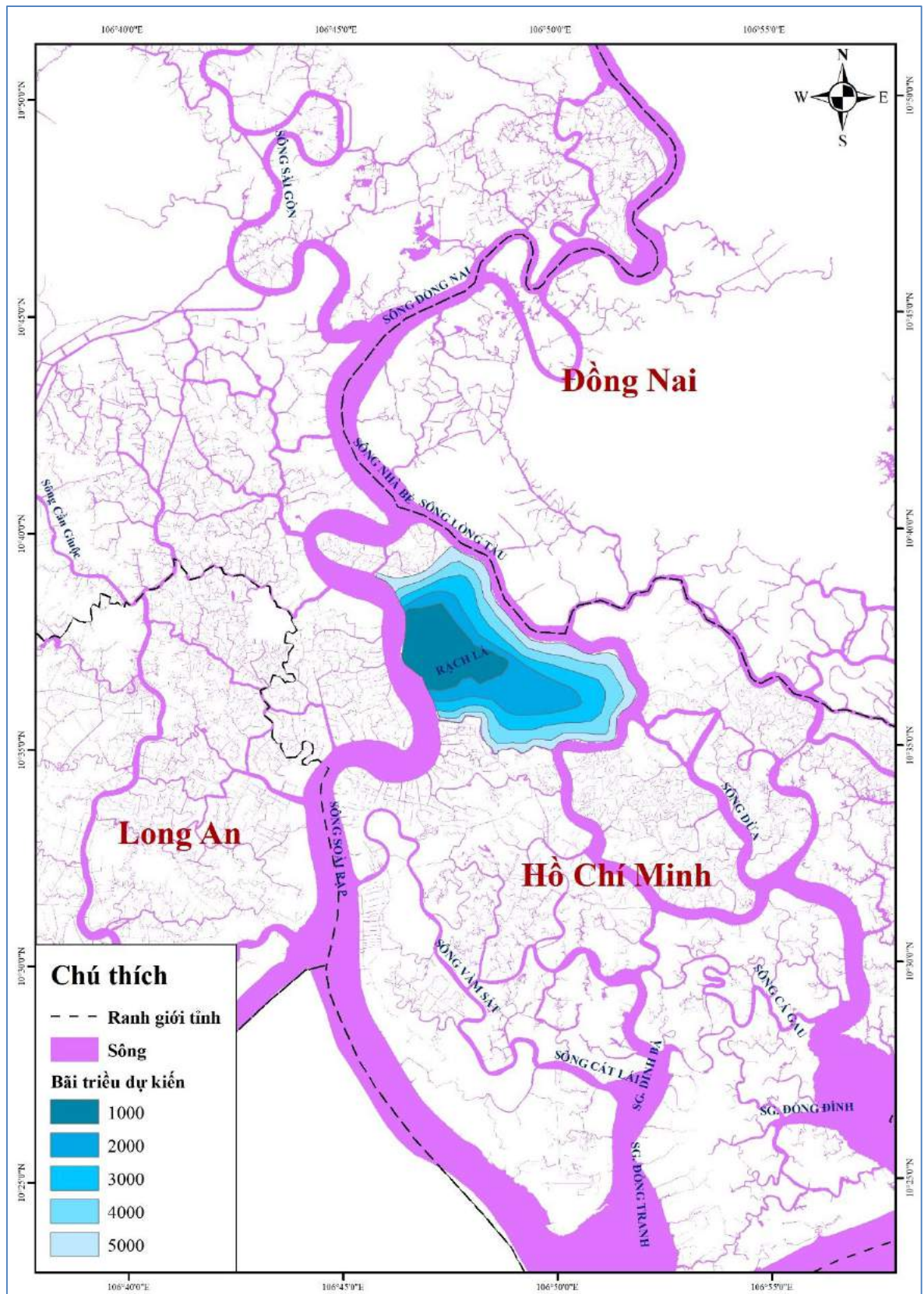


Phụ lục hình 36: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 20 km



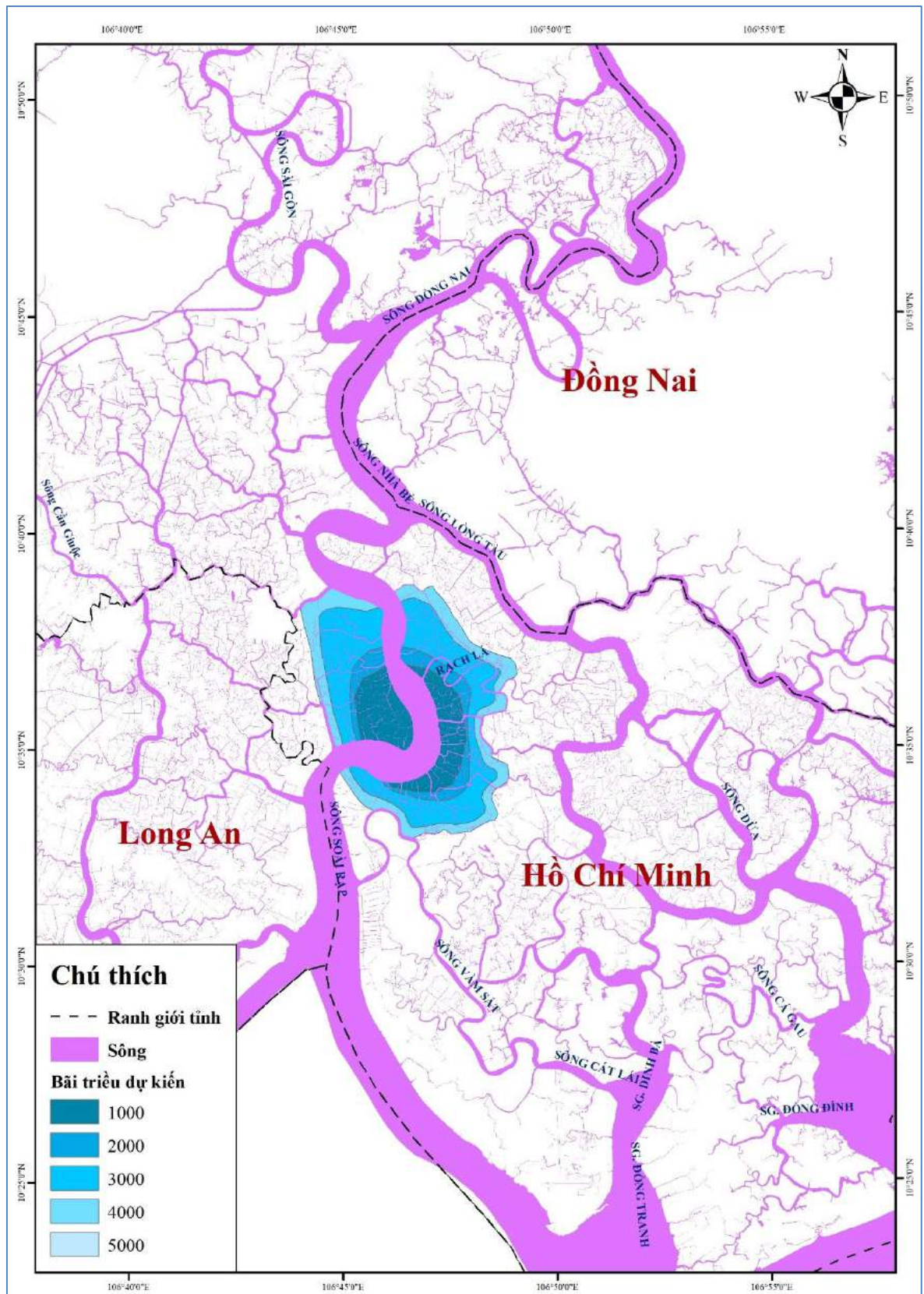


Phụ lục hình 37: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 25 km

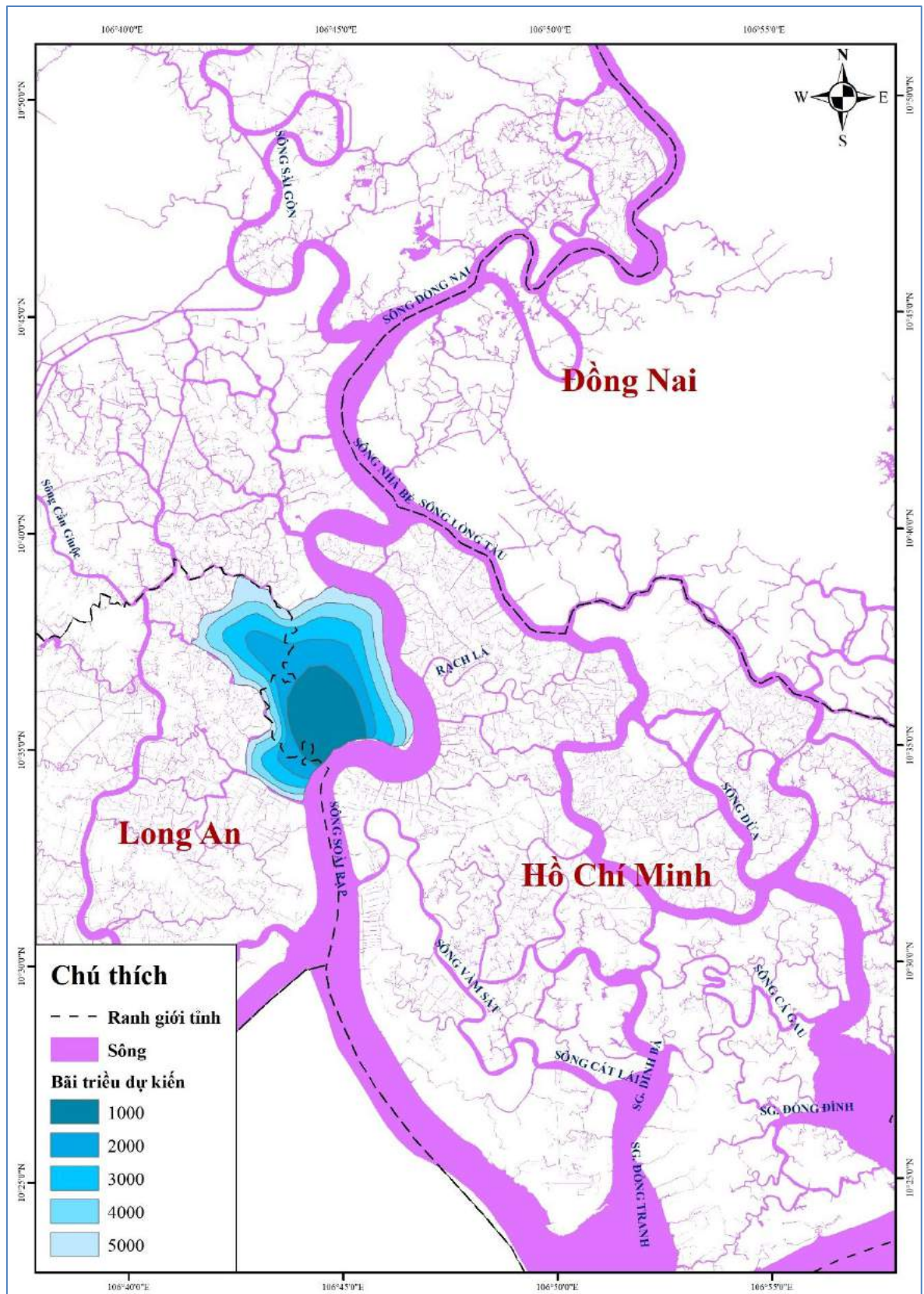


Phụ lục hình 38: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 30 km



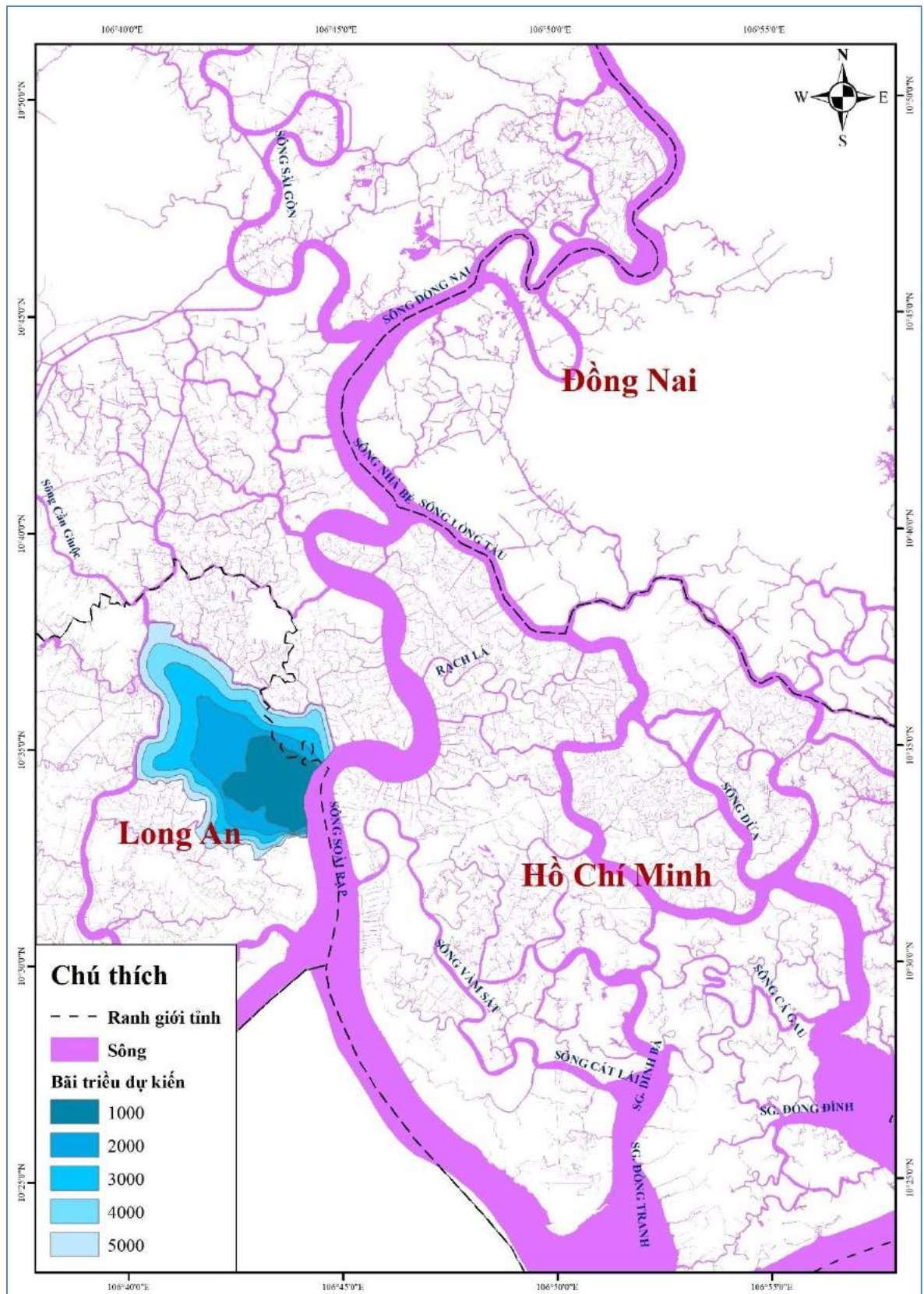


Phụ lục hình 39: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 35 km



Phụ lục hình 40: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 40 km





Phụ lục hình 41: Các khu vực giả thiết bãi triều cách Phú An 45 km

## Quan hệ diện tích và cao độ tại các bãi triều

*Phụ lục bảng 5: Quan hệ diện tích và cao độ bãi triều tại vị trí*

| Cao độ<br>(m)              | Diện tích (ha) |      |      |      |      |
|----------------------------|----------------|------|------|------|------|
|                            | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Tại Phú An</b>          |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 0              | 0    | 0    | 0    | 2    |
| 0.20                       | 1              | 2    | 24   | 40   | 50   |
| 0.40                       | 28             | 35   | 114  | 180  | 236  |
| 0.60                       | 129            | 171  | 339  | 468  | 589  |
| 0.80                       | 288            | 395  | 661  | 866  | 1031 |
| 1.00                       | 426            | 602  | 940  | 1215 | 1423 |
| 1.20                       | 575            | 863  | 1292 | 1667 | 1977 |
| 1.40                       | 737            | 1200 | 1786 | 2341 | 2829 |
| 1.60                       | 849            | 1571 | 2371 | 3130 | 3786 |
| 1.80                       | 907            | 1835 | 2763 | 3670 | 4479 |
| 2.00                       | 953            | 1933 | 2912 | 3877 | 4780 |
| Tổng                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Cách Phú An 5000 m</b>  |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 0              | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 0.20                       | 10             | 17   | 34   | 62   | 79   |
| 0.40                       | 41             | 99   | 198  | 316  | 399  |
| 0.60                       | 97             | 259  | 531  | 789  | 1001 |
| 0.80                       | 195            | 521  | 1014 | 1435 | 1782 |
| 1.00                       | 311            | 873  | 1494 | 2004 | 2443 |
| 1.20                       | 410            | 1068 | 1764 | 2351 | 2897 |
| 1.40                       | 492            | 1229 | 1986 | 2665 | 3341 |
| 1.60                       | 610            | 1409 | 2211 | 2976 | 3759 |
| 1.80                       | 711            | 1565 | 2413 | 3253 | 4127 |
| 2.00                       | 767            | 1656 | 2554 | 3465 | 4414 |
| Tổng                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Cách Phú An 10000 m</b> |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 2              | 2    | 6    | 14   | 26   |
| 0.20                       | 14             | 41   | 88   | 129  | 210  |
| 0.40                       | 139            | 622  | 941  | 1179 | 1466 |
| 0.60                       | 470            | 1135 | 1654 | 2125 | 2671 |
| 0.80                       | 658            | 1438 | 2083 | 2649 | 3309 |
| 1.00                       | 764            | 1611 | 2342 | 2984 | 3710 |
| 1.20                       | 835            | 1729 | 2538 | 3257 | 4031 |
| 1.40                       | 896            | 1825 | 2706 | 3489 | 4319 |
| 1.60                       | 932            | 1894 | 2813 | 3663 | 4526 |

| Cao độ<br>(m)              | Diện tích (ha) |      |      |      |      |
|----------------------------|----------------|------|------|------|------|
|                            | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| 1.80                       | 952            | 1934 | 2875 | 3763 | 4645 |
| 2.00                       | 965            | 1959 | 2916 | 3837 | 4728 |
| Tổng                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Cách Phú An 15000 m</b> |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 55             | 73   | 75   | 96   | 108  |
| 0.20                       | 112            | 271  | 365  | 469  | 504  |
| 0.40                       | 310            | 695  | 1023 | 1435 | 1869 |
| 0.60                       | 654            | 1406 | 1970 | 2550 | 3139 |
| 0.80                       | 807            | 1693 | 2438 | 3134 | 3844 |
| 1.00                       | 902            | 1844 | 2701 | 3496 | 4268 |
| 1.20                       | 938            | 1907 | 2825 | 3664 | 4464 |
| 1.40                       | 966            | 1950 | 2902 | 3791 | 4622 |
| 1.60                       | 985            | 1977 | 2951 | 3875 | 4734 |
| 1.80                       | 997            | 1992 | 2976 | 3924 | 4818 |
| 2.00                       | 1000           | 1998 | 2987 | 3950 | 4879 |
| Tổng                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Cách Phú An 20000 m</b> |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 11             | 34   | 48   | 84   | 119  |
| 0.20                       | 35             | 134  | 245  | 382  | 459  |
| 0.40                       | 145            | 452  | 765  | 1185 | 1455 |
| 0.60                       | 316            | 854  | 1384 | 1970 | 2417 |
| 0.80                       | 493            | 1175 | 1885 | 2632 | 3239 |
| 1.00                       | 677            | 1505 | 2308 | 3162 | 3898 |
| 1.20                       | 745            | 1626 | 2483 | 3383 | 4187 |
| 1.40                       | 819            | 1740 | 2649 | 3584 | 4446 |
| 1.60                       | 925            | 1875 | 2838 | 3809 | 4737 |
| 1.80                       | 984            | 1949 | 2938 | 3937 | 4909 |
| 2.00                       | 998            | 1972 | 2967 | 3973 | 4969 |
| Tổng                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Cách Phú An 25000 m</b> |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 3              | 6    | 6    | 6    | 6    |
| 0.20                       | 29             | 71   | 115  | 164  | 178  |
| 0.40                       | 146            | 338  | 626  | 909  | 1084 |
| 0.60                       | 502            | 1081 | 1739 | 2334 | 2768 |
| 0.80                       | 842            | 1694 | 2567 | 3397 | 4145 |
| 1.00                       | 963            | 1878 | 2828 | 3712 | 4577 |
| 1.20                       | 991            | 1947 | 2921 | 3860 | 4786 |
| 1.40                       | 996            | 1976 | 2968 | 3951 | 4924 |
| 1.60                       | 998            | 1992 | 2989 | 3983 | 4973 |

| Cao độ<br>(m)              | Diện tích (ha) |      |      |      |      |
|----------------------------|----------------|------|------|------|------|
|                            | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| 1.80                       | 999            | 1998 | 2996 | 3991 | 4987 |
| 2.00                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| Tổng                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Cách Phú An 30000 m</b> |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 1              | 3    | 3    | 3    | 3    |
| 0.20                       | 15             | 76   | 83   | 90   | 91   |
| 0.40                       | 137            | 422  | 524  | 588  | 642  |
| 0.60                       | 409            | 1008 | 1406 | 1716 | 1930 |
| 0.80                       | 696            | 1505 | 2222 | 2792 | 3298 |
| 1.00                       | 803            | 1730 | 2610 | 3408 | 4149 |
| 1.20                       | 928            | 1921 | 2904 | 3868 | 4777 |
| 1.40                       | 986            | 1985 | 2982 | 3979 | 4953 |
| 1.60                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 4996 |
| 1.80                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| 2.00                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| Tổng                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Cách Phú An 35000 m</b> |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 1              | 1    | 1    | 2    | 4    |
| 0.20                       | 38             | 43   | 60   | 75   | 109  |
| 0.40                       | 198            | 325  | 484  | 612  | 792  |
| 0.60                       | 520            | 974  | 1421 | 1793 | 2194 |
| 0.80                       | 773            | 1494 | 2196 | 2868 | 3476 |
| 1.00                       | 893            | 1731 | 2523 | 3386 | 4207 |
| 1.20                       | 958            | 1911 | 2781 | 3701 | 4613 |
| 1.40                       | 988            | 1986 | 2914 | 3866 | 4833 |
| 1.60                       | 1000           | 2000 | 2995 | 3989 | 4979 |
| 1.80                       | 1000           | 2000 | 2995 | 3996 | 4996 |
| 2.00                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4001 | 5001 |
| Tổng                       | 1000           | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| <b>Cách Phú An 40000 m</b> |                |      |      |      |      |
| 0.00                       | 0              | 0    | 2    | 2    | 3    |
| 0.20                       | 5              | 36   | 88   | 108  | 122  |
| 0.40                       | 108            | 424  | 667  | 867  | 1047 |
| 0.60                       | 291            | 1026 | 1626 | 2275 | 2823 |
| 0.80                       | 600            | 1489 | 2369 | 3266 | 4130 |
| 1.00                       | 938            | 1876 | 2806 | 3776 | 4737 |
| 1.20                       | 991            | 1970 | 2942 | 3934 | 4926 |
| 1.40                       | 1000           | 1983 | 2975 | 3971 | 4970 |
| 1.60                       | 1000           | 1986 | 2983 | 3979 | 4979 |



| <b>Cao độ<br/>(m)</b>             | <b>Diện tích (ha)</b> |             |             |             |             |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                   | <b>1000</b>           | <b>2000</b> | <b>3000</b> | <b>4000</b> | <b>5000</b> |
| 1.80                              | 1000                  | 1988        | 2986        | 3982        | 4982        |
| 2.00                              | 1000                  | 2000        | 3000        | 4000        | 5000        |
| Tổng                              | 1000                  | 2000        | 3000        | 4000        | 5000        |
| <b><i>Cách Phú An 45000 m</i></b> |                       |             |             |             |             |
| 0.00                              | 0                     | 0           | 1           | 1           | 1           |
| 0.20                              | 4                     | 5           | 25          | 46          | 67          |
| 0.40                              | 93                    | 186         | 331         | 484         | 635         |
| 0.60                              | 381                   | 902         | 1401        | 1913        | 2305        |
| 0.80                              | 640                   | 1527        | 2383        | 3207        | 3998        |
| 1.00                              | 842                   | 1791        | 2705        | 3601        | 4530        |
| 1.20                              | 940                   | 1931        | 2881        | 3813        | 4792        |
| 1.40                              | 975                   | 1974        | 2944        | 3906        | 4899        |
| 1.60                              | 983                   | 1983        | 2969        | 3945        | 4944        |
| 1.80                              | 986                   | 1986        | 2986        | 3967        | 4967        |
| 2.00                              | 1000                  | 2000        | 3000        | 4000        | 5000        |
| Tổng                              | 1000                  | 2000        | 3000        | 4000        | 5000        |