

# MÔ PHÒNG CÁC NGUY CƠ NGẬP LỤT BỞI NƯỚC BIỂN DÂNG DO BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI CỬA SÔNG MÃ, THANH HÓA

Lưu Đức Dũng<sup>(1)</sup>, Hoàng Văn Đại<sup>(2)</sup>, Hoàng Anh Huy<sup>(3)</sup> và Nguyễn Khánh Linh<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Viện Chiến lược, Chính sách Tài nguyên và Môi trường

<sup>(2)</sup>Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu

<sup>(3)</sup>Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội

**S**ông Mã là hệ thống sông lớn nhất tại tỉnh Thanh Hóa và một trong bốn hệ thống sông lớn nhất Việt Nam. Sông đổ ra ba cửa chính: Lạch Sùng, Lạch Trường và Hội. Tại khu vực cửa sông, dao động mực nước phụ thuộc vào lưu lượng nước từ thượng lưu, chế độ thủy triều và nước dâng do gió mạnh và bão, khiến cho sự thay đổi hình dạng đường bờ trở nên phức tạp. Trong nghiên cứu này, sự thay đổi mực nước trung bình và cao nhất hàng năm tại khu vực cửa sông Mã trong thế kỷ 21 được tính toán từ mô hình động lực biển quy mô khu vực có độ phân giải cao. Bản đồ ngập lụt được thử xây dựng nhằm ước lượng diện tích ngập lụt với một số kịch bản biến đổi khí hậu (BĐKH) A1FI, A1B và A2 được đưa ra bởi Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC). Nghiên cứu đã chỉ ra rằng, không chỉ Đồng bằng sông Cửu Long mà còn nhiều khu vực khác ở nước ta, như cửa sông Mã, cũng có khả năng chịu tác động rất lớn từ nguy cơ nước biển dâng do BĐKH.

*Từ khóa: biến đổi khí hậu; nước biển dâng; mực nước cực đại hàng năm; nguy cơ ngập lụt; cửa sông Mã (Thanh Hóa).*

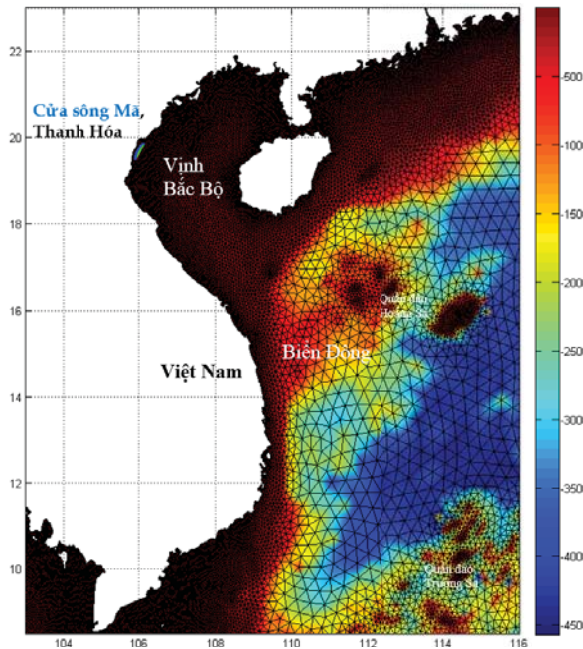
## 1. Đặt vấn đề

Là hệ thống sông lớn có lưu lượng nước lớn thứ tư tại Việt Nam sau sông Mê Kông, sông Hồng và sông Đồng Nai, sông Mã bắt nguồn từ Lào chảy qua tỉnh Thanh Hóa trước khi đổ ra biển Đông. Sông Mã dài 512 km, với diện tích lưu vực 17.600 km<sup>2</sup> [8]. Phần cửa sông Mã thường xuyên chịu ảnh hưởng bởi các hiện tượng khí tượng cực đoan. Chẳng hạn, đã có 87 cơn bão quét qua khu vực này kể từ năm 1891 với các cơn bão mạnh nhất xảy ra vào các năm 1909, 1929, 1963, 1964, 1973, 1980 và 1996 dẫn đến ngập lụt cục bộ do kết hợp triều cường, có nơi rất cao như tại trạm Xuân Khánh trong cơn bão Rath, tháng 9 năm 1980 [8]. Ở chu kỳ dài hơn, ảnh hưởng của nước dâng do sự thay đổi của gió mùa đã quan sát được tại nhiều khu vực khác ở Biển Đông [4, 9, 10] gợi ý rằng, chúng có thể tác động đến nhiều nơi, gồm cả phần cửa sông Mã.

Trong bối cảnh đó, mực nước biển đang tăng lên do sự ấm lên toàn cầu với tốc độ ngày càng lớn hơn kể từ đầu thế kỷ 20. Trong giai đoạn từ

năm 1900 - 2009, mực nước biển đã tăng trung bình 1,7 mm/năm [1]. Các quan sát từ vệ tinh và các trạm đo thủy triều còn cho thấy, nước dâng gần đây tăng nhanh gấp đôi, khoảng từ 2,8 - 3,3 mm/năm [1, 7]. Trong khu vực Biển Đông, tốc độ nước biển dâng được ghi nhận xấp xỉ với tốc độ dâng toàn cầu, chẳng hạn tại eo biển Malacca, eo biển Singapore và vùng biển xung quanh bán đảo Malaysia vào khoảng từ 3,6 - 3,7 mm/năm [4, 9].

Việc định lượng tác động của hiện tượng nước biển dâng do BĐKH lên khu vực cửa sông Mã có vai trò quan trọng trong quy hoạch và giảm nhẹ ảnh hưởng của chúng. Các nghiên cứu trước đây chưa quan tâm đến khu vực này, đặc biệt chưa có một phân tích định lượng về mức độ nước biển sẽ dâng và khu vực ảnh hưởng tương ứng. Nghiên cứu này đã tính toán chi tiết sự thay đổi mực nước biển cao nhất (cực đại) hàng năm tại cửa sông Mã theo một số kịch bản do IPCC đề xuất, từ đó xây dựng các bản đồ dự tính các khu vực có nguy cơ ngập lụt (hình 1).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và lưới tính toán. Đường đồng mức hiển thị độ sâu đáy biển (tính theo mét), và các đường màu đen đánh dấu phần tử lưới tam giác. Đường màu xanh trong Vịnh Bắc Bộ đánh dấu điểm trích xuất giá trị mực nước đại diện cho cửa sông Mã trong mô hình SST

## 2. Số liệu và phương pháp

Sử dụng số liệu đầu ra từ mô hình thủy động lực biển ven bờ Storm Surge & Tide (SST) phát triển tại Đại học Quốc gia Singapore [10] dự tính cho giai đoạn 2010 - 2099. Miền tính bao phủ toàn bộ Biển Đông với biên lờng mở rộng một phần ra phía Thái Bình Dương và Ấn Độ Dương, nhằm hạn chế tác động của biên tới miền tính. Một đặc điểm ưu việt của mô hình là phát triển dựa trên lưới tam giác, cho phép tăng độ phân giải rất mịn ở những khu vực yêu cầu tính toán chính xác, trong khi cân bằng với hiệu năng bằng lưới thô hơn ở những vùng ít quan trọng. Mô hình SST trong nghiên cứu này có khoảng nửa triệu phần tử tam giác, với độ phân giải khoảng 0,3 km gần cửa sông Mã. Địa hình đáy được nội suy từ bản đồ GEBCO [2] với độ phân giải  $1/1200 \times 1/1200$ . Mô hình dựa trên hệ phương trình ba chiều của vùng nước nông, sử dụng giả thiết thủy tĩnh và xấp xỉ Boussinesq trong hệ tọa độ cầu. Ứng suất đáy được tính từ công thức Chezy, với vận tốc nước sát lớp biên đáy tuân theo quy luật hàm logarit; ứng suất bề mặt tỷ lệ phi tuyến với tốc độ gió; và sử dụng khép kín rôi Mellor Yamada. Dao động mực nước được cho bởi lực tạo triều áp lên dọc các biên lờng (gần

biển Adaman, eo biển Luzon và biển Java) và lực mặt tác động bởi các trường ứng suất gió và khí áp. Dao động triều dọc biên lờng của mô hình SST trích xuất mô hình thủy triều toàn cầu FES2004 [5]; trong khi các trường khí quyển áp lên SST được giảm quy mô bằng mô hình WRF từ số liệu đầu ra của mô hình khí hậu CCSM dựa theo các kịch bản phát thải của IPCC [3]. Mực nước biển được giả thiết tuyến tính tại các biên lờng dựa trên các kịch bản phát thải. Như vậy, mực nước cực đại từ mô hình sẽ do ảnh hưởng của BĐKH (thông qua tác động từ biên lờng và sự thay đổi của trường khí quyển) và tương tác phi tuyến với thủy triều. Mô hình cho kết quả dự báo triều chính xác và mực nước cực đại phù hợp với quan sát khi so sánh (ở chế độ hintcast) với những phân tích từ các trạm đo triều tại một số khu vực khác của Biển Đông, như gần eo biển Singapore và xung quanh bán đảo Malaysia [10].

Chuỗi thời gian của mực nước cho khu vực cửa sông Mã trong suốt 90 năm (giai đoạn 2011-2099) được trích xuất từ dữ liệu tính toán của mô hình SST [10] với 3 kịch bản phát thải khí nhà kính: A1B (thấp), A2 (trung bình) và A1FI (cao). Các chu kỳ lặp lại của mực nước cao nhất hàng

năm được giả thiết tuân theo phân phối xác suất

$$SF = \exp \left\{ - \left[ 1 + S \left( \frac{h-L}{H} \right) \right]^{-1/S} \right\}$$

giá trị cực đại tổng quát (GEV), và được tính thông qua hàm phân phối tích lũy F có dạng:

TSrong đó: L là tham số vị trí, H là tham số kích thước, S là tham số hình dạng, còn h là mực nước. Nghiên cứu này sử dụng phân phối Gumbel để tính mực nước cao nhất hàng năm cho các chu kỳ lặp lại 1 năm, 10 năm, 50 năm và 100 năm. Bài báo sử dụng giá trị của chu kỳ lặp lại 1 năm (RP = 1) làm giá trị mực nước cao nhất cơ sở đại diện cho thời điểm hiện tại. Mực nước cực đại hàng năm tăng thêm (h) được tính bằng hiệu mực nước cực đại hàng năm (h ứng với RP khác nhau) và mực nước cực đại cơ sở hiện nay (h ứng với RP=1). Mực nước tăng thêm này ( $\Delta h$ ) bao gồm phần nước biển dâng do BĐKH và tương tác phi tuyến của nó với thủy triều và khí quyển. Nói cách khác, nếu như dạng đường bờ hiện nay được xác định bởi mực nước cao nhất khi thủy triều đạt cực đại (mỗi năm), thì dạng đường bờ trong các kịch bản BĐKH ở tương lai sẽ được xác định bởi mực nước thủy triều cực đại cộng với phần tăng thêm ( $\Delta h$ ). Phần tăng thêm này có thể bao gồm cả nguy cơ tăng do băng tan và lượng nước dâng do bão. Khi tính đến hiệu ứng băng tan, mực nước tăng thêm do băng tan được giả thiết tỷ lệ tuyến tính với thời gian. Giá trị tại tuyến tính mỗi năm được cộng thêm vào chuỗi mực nước, sau đó áp dụng tương tự phương pháp GEV để tính chu kỳ lặp lại.

Để xây dựng bản đồ, nghiên cứu đã sử dụng công cụ ArcGIS và bộ số liệu DEM với độ phân giải 10 x 10 m<sup>2</sup>. Việc xác định các khu vực có nguy cơ ngập dựa trên giả thiết rằng, khi nước biển dâng thì các khu vực có cao độ thấp hơn mực nước biển sẽ bị ngập và đảm bảo điều kiện các khu vực này được liên thông với biển. Đây cũng là phương pháp thường được sử dụng để xác định khu vực ngập lụt do nước biển dâng (theo các kịch bản BĐKH, nước biển dâng cho Việt Nam các năm 2009 và 2012).

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1 Ngập lụt do nước biển dâng

Họ các kịch bản A1 cho BĐKH trong thế kỷ 21 dựa trên giả thiết kinh tế thế giới tăng trưởng rất nhanh, dân số thế giới sẽ đông nhất vào giữa thế kỷ trước khi giảm sau đó song hành với sự ra đời của các công nghệ mới hiệu quả hơn. Dưới góc nhìn đó, diễn ra sự hội tụ mãnh mẽ giữa các khu vực, năng lực cạnh tranh được cải thiện kèm theo tương tác văn hóa xã hội được tăng cường, và sự khác biệt về thu nhập đầu người giữa các quốc gia khu vực giảm đi. Trong đó, kịch bản A1FI dựa trên giả thiết rằng thế giới vẫn phụ thuộc mạnh mẽ vào nhiên liệu hóa thạch, khiến cho tác động của chúng lên khí hậu trở nên nghiêm trọng hơn cả; còn kịch bản A1B dựa trên giả thiết sự ra đời các công nghệ mới khiến cho việc tiêu thụ năng lượng hóa thạch giảm đi, và lượng nhiên liệu phi hóa thạch được tiêu thụ ở một tỷ trọng đáng kể, khiến cho tác động của chúng lên hiệu ứng nhà kính thấp hơn. Các kịch bản này ứng với lượng khí nhà kính khác nhau, dẫn đến sự thay đổi tương ứng giữa khí hậu và nước biển dâng. Đối với khu vực cửa sông Mã, kết quả dự tính nước biển cực đại tăng thêm cho các kịch bản A1B và A1FI được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2 cho thấy, mực nước tăng theo kịch bản A1B với chu kỳ 10 năm, 50 năm và 100 năm cho cửa sông Mã tương ứng là 0,45 m; 0,65m và 0,74 m. Điều đó có nghĩa là: trong mỗi thập kỷ của thế kỷ 21, xảy ra ít nhất 1 lần mực nước cực đại (do BĐKH theo kịch bản A1B) dâng cao hơn 0,45 m so với mức nước cực đại hiện nay. Trong suốt thập kỷ, sẽ có ít nhất một lần (theo kịch bản A1B) mực nước cực đại cao hơn 0,74 m so với hiện nay. Với mức dâng như vậy, một phần khu vực kéo dài từ lưu vực sông đến huyện Hoàng Hóa cũng như một phần huyện Nga Sơn sẽ bị ngập lụt (hình 2). Tổng diện tích ngập lụt (trong thời gian xảy ra hiện tượng này) là 98,3 km<sup>2</sup> (bảng 1). Trong khi đó, mực nước tăng theo kịch bản A1FI với chu kỳ 10 năm, 50 năm và 100 năm cho cửa sông Mã tương ứng là 0,63 m; 0,94 m và 1,07 m. Với mức dâng như vậy, khu vực

ngập lụt mở rộng hơn (hình 3), với tổng diện tích ngập lụt (trong thời gian xảy ra hiện tượng này ở tần suất 1 trong 100 năm) là 369,8 km<sup>2</sup> (bảng 1), gấp 3,5 lần so với kịch bản A1B, dù mức khác biệt chỉ 0,25 m. Giả thiết rằng dân cư phân bố đồng đều ở các huyện, thì nước dâng theo kịch bản A1B ảnh hưởng đến ít nhất 65,341 người ở bốn huyện, thành phố và thị xã lớn dọc lưu vực sông (thành phố Thanh Hóa, xã Sầm Sơn, huyện Quảng Xương, huyện Hoằng Hóa và huyện Hậu Lộc), trong khi tác động của nó trong kịch bản A1FI lên tới 194,013 người (bảng 5).

Theo các họ kịch bản A2, thế giới trong thế kỷ tới duy trì sự phức tạp và không đồng nhất

gần như hiện nay. Dưới góc nhìn của kịch bản này, các quốc gia và vùng lãnh thổ vẫn giữ duy trì tính độc lập tương đối, dân số thế giới tiếp tục tăng, trong khi kinh tế toàn cầu có xu hướng duy trì tính chất khu vực, với bối cảnh công nghệ thay đổi chậm. Tác động của mực nước cực đại ở cửa sông Mã với chu kỳ lặp lại 10 năm, 50 năm và 100 năm tương ứng là 0,58 m; 0,85 m và 0,96 m. Giá trị này ở mức trung bình nằm ở giữa so với hai kịch bản trước (hình 4). Theo kịch bản A2, mực nước cực đại xuất hiện 1 lần trong 100 năm sẽ gây ngập một diện tích 258,6 km<sup>2</sup> (gấp 2,5 lần so với A1B) và ảnh hưởng đến 132.555 người (bảng 1 và bảng 5).

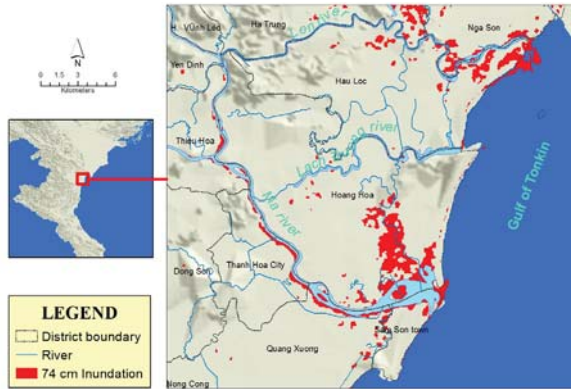
Bảng 1. Diện tích ngập lụt do nước dâng tại khu vực của tỉnh Thanh Hóa theo các kịch bản nước biển dâng

STT	Khu vực	Diện tích ngập (km <sup>2</sup> )					
		Tổng	$\Delta h=3.85m$	$\Delta h=1.34m$	$\Delta h=1.07m$	$\Delta h=0.96m$	$\Delta h=0.74m$
1	Huyện Hà Trung	244.7	136.3	78.4	59.0	46.7	15.1
2	Huyện Tĩnh Gia	448.7	210.4	65.0	37.7	26.7	12.5
3	Thị xã Bim Sơn	63.5	23.4	12.5	9.8	8.0	3.2
4	Huyện Thiệu Hóa	159.9	156.2	7.8	3.5	2.4	1.1
5	Huyện Thọ Xuân	301.3	119.3	0.1	0.0	0.0	0.0
6	Huyện Quảng Xương	201.1	197.6	95.4	40.2	22.6	6.6
7	Huyện Thạch Thành	559.3	55.6	0.1	0.0	0.0	0.0
8	Huyện Đông Sơn	82.3	78.8	16.7	2.0	0.5	0.1
9	Thị xã Sầm Sơn	17.0	15.8	6.9	5.1	4.4	3.1
10	Huyện Nông Cống	285.8	222.2	110.3	44.0	20.9	1.7
11	Huyện Ngọc Lặc	493.2	1.3	0.1	0.1	0.1	0.1
12	Huyện Hậu Lộc	138.4	125.9	50.6	24.4	18.0	8.1
13	Huyện Nga Sơn	148.0	131.4	96.2	68.4	54.4	18.6
14	Huyện Triệu Sơn	289.2	187.2	8.2	0.7	0.1	0.0
15	Huyện Như Thành	595.9	27.2	0.4	0.0	0.0	0.0
16	Huyện Hoằng Hóa	201.4	185.5	88.2	53.0	40.8	21.7
17	Huyện Vĩnh Lộc	157.6	74.6	0.0	0.0	0.0	0.0
18	Huyện Yên Định	216.2	155.8	3.7	1.4	0.8	0.1
19	Thành phố Thanh Hóa	146.4	139.0	55.0	20.6	12.2	6.6
Tổng diện tích		4750.0	2243.5	695.5	369.8	258.6	98.3

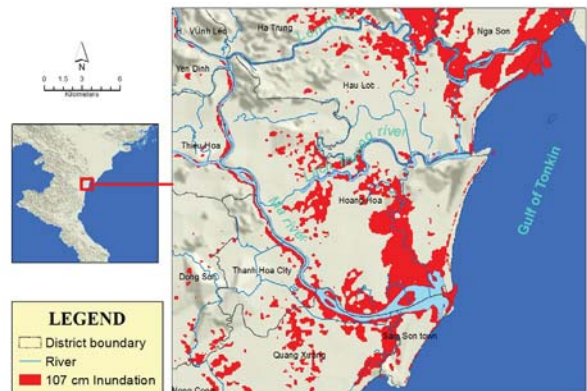
Bảng 2. Mức tăng của mực nước cực đại hàng năm (tính từ mô hình) trong giai đoạn 2011-2099 do tác động của nước biển dâng so với mực nước cực đại hiện nay tại cửa sông Mã

Kịch bản	Mức nước tăng (m) ứng với chu kỳ lặp lại			
	1 năm	10 năm	50 năm	100 năm
A1FI	0.20	0.63	0.94	1.07
A1B	0.15	0.45	0.65	0.74
A2	0.20	0.58	0.85	0.96

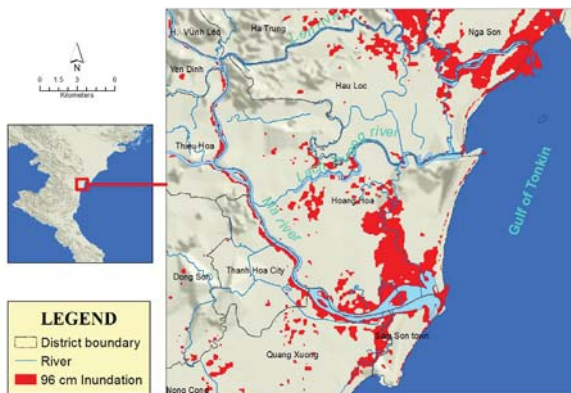




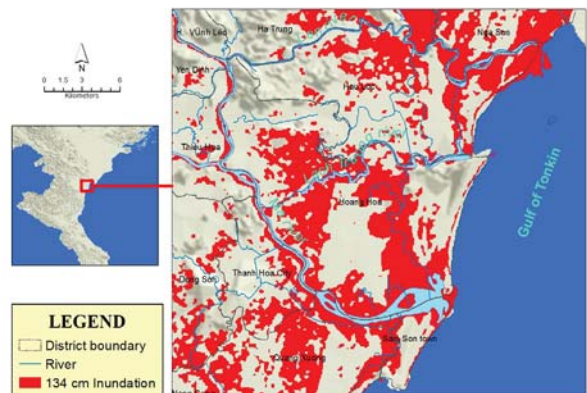
Hình 2. Bản đồ ngập lụt với chu kỳ 100 năm lặp lại của mực nước cao nhất hàng năm do nước biển dâng theo kịch bản A1B trong giai đoạn 2010-2099 ( $h=0,74m$ )



Hình 3. Bản đồ ngập lụt với chu kỳ 100 năm lặp lại của mực nước cao nhất hàng năm do nước biển dâng theo kịch bản A1FI trong giai đoạn 2010-2099 ( $h=1,07m$ )



Hình 4. Bản đồ ngập lụt với chu kỳ 100 năm lặp lại của mực nước cao nhất hàng năm do nước biển dâng theo kịch bản A2 trong giai đoạn 2010-2099 ( $h=0,96m$ )



Hình 5. Bản đồ ngập lụt với chu kỳ 100 năm lặp lại của mực nước cao nhất hàng năm do nước biển dâng theo kịch bản A1FI có tính đến hiệu ứng do băng tan và nước dâng do bão trong giai đoạn 2010-2099 ( $h=1,34m$ )

### 3.2 Ngập lụt do nước biển dâng kèm theo các nguy cơ khác

Trong các mô hình về biến đổi khí hậu, hiện nay người ta thường bỏ qua lượng nước biển dâng liên quan tới băng tan, mà theo ước tính có thể làm dâng mực nước toàn cầu lên khoảng 20 cm vào cuối thế kỷ này [3]. Tương tự [10], nghiên cứu này giả thiết lượng băng tan tỷ lệ với thời gian, và được thêm vào sự thay đổi của mực nước dưới quan hệ tuyến tính, trước khi tính toán các giá trị cực đại hàng năm (bảng 3). Theo đó, trong trường hợp ít có khả năng xảy ra (chu kỳ lặp lại 100 năm theo kịch bản A1FI), mực nước cực đại đạt giá trị lớn nhất, 1,34 m. Kịch bản này

có khả năng dẫn đến nguy cơ ngập lụt một diện tích khá rộng (hình 5), khoảng 695,5 km<sup>2</sup>.

Nước dâng do bão không được tính đến trong các mô hình khí hậu hiện nay. Do đó, đã giả thiết rằng nước dâng do bão vẫn có nguy cơ tương tự như những gì đã quan sát được, và do đó áp dụng đánh giá của nghiên cứu [6] với độ lớn ứng các chu kỳ trở lại 50 năm và 100 năm thể hiện trong bảng 4. Với chu kỳ lặp lại 2500 năm, mực nước cực đại do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu theo kịch bản A2 kèm theo nước dâng do bão, có tính đến băng tan đạt mức 3,85 m. Điều đó gây ra ngập úng rất nặng nề (hình 6), khoảng 2243,5 km<sup>2</sup> (chiếm gần một nửa tỉnh), ảnh hưởng đến

gần như toàn bộ dân cư sống trên lưu vực sông. Tuy nhiên cũng cần nhấn mạnh rằng sự kiện cực đoan này xảy ra với xác suất cực kỳ thấp, với nhiều giả thiết đã được đơn giản hóa.

*Bảng 3. Mức tăng của mực nước cực đại hàng năm trong giai đoạn 2011-2099 do tác động của nước biển dâng kèm theo nguy cơ băng tan (phương pháp mô tả trong phần nội dung) so với mực nước cực đại hiện nay tại cửa sông Mã*

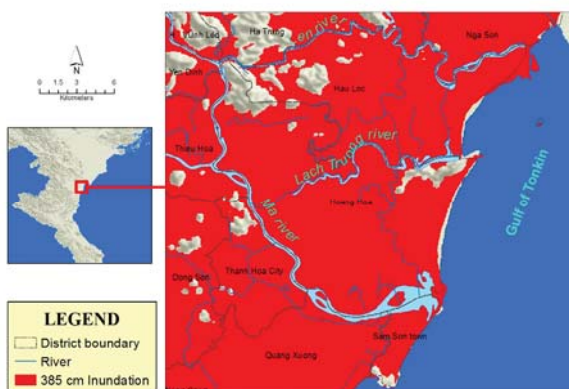
Kịch bản	Mức nước tăng (m) ứng với chu kỳ lặp lại			
	1 năm	10 năm	50 năm	100 năm
A1FI	0.26	0.80	1.18	1.34
A1B	0.22	0.61	0.88	0.99
A2	0.26	0.74	1.08	1.23

*Bảng 4. Mức tăng của mực nước cực đại hàng năm trong giai đoạn 2011-2099 do tác động của nước biển dâng kèm theo nguy cơ băng tan và ảnh hưởng của bão so với mực nước cực đại hiện nay tại cửa sông Mã*

Kịch bản	Mức nước tăng (m)	
	ứng với chu kỳ lặp lại	
	50 năm	100 năm
Nước dâng theo kịch bản A2 kèm theo nguy cơ băng tan	0.85	0.96
Nước dâng do bão	3.00	4.00
Tổng mực nước (*)	3.85	4.96

*Bảng 5. Dân số bị ảnh hưởng bởi mực nước cao nhất hàng năm tại một số khu vực trên lưu vực sông Mã theo các kịch bản dự tính đến cuối thế kỷ 21*

Khu vực	Tổng dân số (người)	Dân số bị ảnh hưởng (người)				
		$\Delta h=3.85m$	$\Delta h=1.34m$	$\Delta h=1.07m$	$\Delta h=0.96m$	$\Delta h=0.74m$
Thành phố Thanh Hóa	332,705	315,833	124,969	46,754	27,685	14,893
Thị trấn Sầm Sơn	54,602	50,530	22,202	16,342	14,025	9,785
Huyện Quảng Xương	216,302	212,521	102,559	43,223	24,294	7,076
Huyện Hoằng Hóa	221,850	204,360	97,163	58,404	44,908	23,873
Huyện Hậu Lộc	166,080	151,150	60,699	29,290	21,643	9,714
Tổng cộng	991,539	934,394	407,593	194,013	132,555	65,341



*Hình 6. Bản đồ ngập lụt với chu kỳ 2500 năm lặp lại của mực nước cao nhất hàng năm do nước biển dâng theo kịch bản A2 có tính đến hiệu ứng do băng tan và nước dâng do bão cho giai đoạn 2010-2099 (  $h=3,85m$ )*

#### 4. Kết luận

Sự thay đổi mực nước trung bình và cao nhất hàng năm tại khu vực cửa sông Mã trong thế kỷ 21 được dự tính từ mô hình động lực biển quy mô khu vực có độ phân giải cao. Bản đồ ngập lụt được thử xây dựng nhằm ước lượng diện tích ngập lụt trên lưu vực dưới một số kịch bản A1FI, A2 và A1B được đưa ra bởi IPCC. Theo đó, theo kịch bản A1B (phát thải thấp), trong 100 năm tới sẽ có xác suất xảy ra 1 lần nước dâng ngập một diện tích rộng 98 km<sup>2</sup>; trong khi theo kịch bản A2 (trung bình) và A1FI (cao), diện tích ngập tương ứng là 259 km<sup>2</sup> và 370 km<sup>2</sup>. Việc ngập úng theo ước lượng sơ bộ sẽ có tác động lên từ 65 - 194 ngàn người. Nếu tính thêm yếu tố liên quan đến băng tan, diện tích ngập úng với nguy cơ cao có khả năng xảy ra 1 lần trong suốt thế kỷ 21 là

696 km<sup>2</sup>. Trong kịch bản có xác suất rất thấp và khó xảy ra khi tính thêm ảnh hưởng của nước dâng do bão, diện tích ngập có thể bao phủ toàn bộ lưu vực sông và gần một nửa tỉnh.

Tuy nhiên, nghiên cứu này sử dụng nhiều giả thiết đơn giản (nước ngập là tức thời và loại bỏ tác dụng bảo vệ của đê điều), trong khi rõ ràng nguy cơ ngập lụt một diện tích rộng và ảnh hưởng đến dân số nhiều như vậy có xác suất xảy ra thấp. Mặc dù vậy, ở góc độ quản lý rủi ro, đây là vấn đề cần được lưu tâm trong quy hoạch phát triển. Nghiên cứu bước đầu đã chỉ ra rằng, không chỉ Đồng bằng sông Cửu Long mà những khu vực khác như cửa sông Mã cũng có khả năng chịu tác động rất lớn bởi hiện tượng nước biển dâng liên quan đến biến đổi khí hậu.

#### Tài liệu tham khảo

1. Church, J. A. and White, N. J. (2011), *Sea-level rise from the late 19th to the early 21st Century. Surveys in Geophysics*, 32, 585–602, doi:10.1007/s10712-011-9119-1.
2. GEBCO (2008), *Gridded bathymetry data*, retrieved from [http://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/), 2008.
3. IPCC (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
4. Luu, Q.-H., Tkalich, P. and Tay T.-W. (2015), *Sea level trend and variability around the Peninsular Malaysia*, *Ocean Science*, 11, 617-628.
5. Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T. and Francis, O. (2006), *Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004*, *Ocean Dynamics*, 56(5-6), 394-415, doi:10.1007/s10236-006-0086-x.
6. Nguyen T.S. (2008), *Storm surge projections along Vietnamese coastlines using DELFT3D ocean model forced by outputs of RAMS metrological model*, Proceedings of Symposium on Coastal Engineering, Hanoi Water Resources University, Hanoi, Nov2008, 39-47 (in Vietnamese).
7. Nicholls, R. J. and Cazenave, A. (2010), *Sea-level rise and its impact on coastal zones*, *Science*, 328, 1517, Jun 18, doi:10.1126/science.1185782.
8. RCHWR (2010), *Field study and hydrodynamic model of Ma - Chu Riverbasin, Thanh Hoa, La V.C. (ed.)*. Final Report, Research Center for Hydraulics and Water Resources, 304 pp.
9. Tkalich, P., Vethamony, P., Luu, Q.-H. and Babu M.T. (2013), *Sea level trend and variability in the Singapore Strai*, *Ocean Science*, 9, 293–300, doi:10.5194/os-9-293-2013.
10. Tkalich, P., Luu, Q.-H., Kolomiets, P., and M. Zheleznyak (2014), *Projections of storm surges over Sunda Shelf for the future climate*, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-10071.

## A TRIAL SMULATION OF INDUNATION RISKS ASSOCIATED WITH SEA LEVEL RISE DUE TO CLIMATE CHANGE AT MA ESTUARIES, THANH HOA

Luu Duc Dung<sup>(1)</sup>, Hoang Van Dai<sup>(2)</sup>, Hoang Anh Huy<sup>(3)</sup> and Nguyen Khanh Linh<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Institute of Strategy & Policy on Natural Resources & Environment

<sup>(2)</sup>Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology & Climate Change

<sup>(3)</sup>Hanoi University of Natural Resources & Environment

*Situated in the westernmost coast of the Gulf of Tonkin, Ma River is the largest riverine system in Thanh Hoa Province, Vietnam. Its discharge consists of three main estuaries: Lach Sung, Lach Truong and Hoi. In this region, sea levels are predominantly controlled by daily astronomical tide and wind-induced surge, and modulated by seasonal flooding, leading to high complexity in the coastal shorelines. In this study, mean sea level change and its extremes throughout the 21st century are derived from high-resolution regional model system for selected scenarios (A1FI, A2 and A1B) driven by tide and downscaled atmospheric forcings. Taken into account the effects of ice-sheet melts and storm surge, high-resolution inundation maps are generated to assess future risks for these estuaries in the context of climate change.*

*Keywords: Climate change; Sea level rise; Sea level extreme; the Ma estuaries (Thanh Hoa Province); Inundation maps.*