



## Sụt lún đất tại thành phố Hồ Chí Minh, nguy cơ và thách thức cho sự phát triển bền vững của thành phố Hồ Chí Minh

Nguyễn Thanh Nhuận<sup>1</sup>, Hồ Tổng Minh Định<sup>2</sup>, Lê Trung Chon<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Sở Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>National Research Institute for Agriculture, Food and Environment, France

<sup>3</sup>Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM

Email tác giả liên hệ: [chonlt@hcmunre.edu.vn](mailto:chonlt@hcmunre.edu.vn)

DOI: 10.5281/zenodo.15205494

### Tóm tắt:

Sụt lún đất là loại tai biến địa chất phổ biến trên thế giới và gây ảnh hưởng nghiêm trọng ở đất sự phát triển bền vững đô thị, đặc biệt là các đô thị quan trọng như TP.HCM. Bài báo trình bày tổng quan các kết quả nghiên cứu sụt lún đất của nhóm tại TP.HCM giai đoạn 2006 đến 2020 bằng kỹ thuật phân tích InSAR. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ lún hiện nay bình quân trên toàn thành phố khoảng 2-5cm mỗi năm. Riêng những khu vực có nền địa chất yếu, tập trung như các công trình thương mại, tốc độ lún có thể lên tới 7 đến 8cm mỗi năm. Qua đó nhóm tác giả đề xuất TP.HCM cần xây dựng hệ thống thông tin mô phỏng và dự báo sụt lún đất để hỗ trợ ra quyết định giúp chính quyền có những giải pháp nhanh chóng, thích hợp, chính xác, nâng cao năng lực quản lý góp phần quản lý đô thị một cách hiệu quả, thích nghi với biến đổi khí hậu và phát triển bền vững.

**Từ khóa:** Sụt lún đất, kỹ thuật InSAR, GNSS, hồi quy không gian, AI, phát triển bền vững

Ngày nhận bài: 17/03/2025 Ngày sửa lại: 03/04/2025 Ngày chấp nhận đăng: 05/04/2025 Ngày xuất bản: 14/04/2025

## Land subsidence in Ho Chi Minh city risks and challenges for sustainable development of Ho Chi Minh city

Nguyen Thanh Nhuan<sup>1</sup>, Ho Tong Minh Dinh<sup>2</sup>, Le Trung Chon<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Natural Resources and Environment of Ho Chi Minh City

<sup>2</sup>National Research Institute for Agriculture, Food and Environment, France

<sup>3</sup>Ho Chi Minh University of Natural Resource and Environment

Corresponding Author Email: [chonlt@hcmunre.edu.vn](mailto:chonlt@hcmunre.edu.vn)

### Abstract:

Land subsidence is a common geological hazard in the world and seriously impacts sustainable urban development, especially in important cities such as Ho Chi Minh City. The article presents an overview of the authors' results of land subsidence research in Ho Chi Minh City from 2006 to 2020 using InSAR analysis techniques. The research results show that the current average subsidence rate across the city is about 2-5cm per year. Particularly in areas with weak geology and concentrated areas such as commercial projects, the subsidence rate can be up to 7 to 8cm per year. Thereby, the group of authors proposes that Ho Chi Minh City needs to build a land subsidence simulation and forecasting information system to support decision-making to help the government have quick, appropriate, and accurate solutions, improve management capacity, contribute to effective urban management, and adapt to climate change and sustainable development.

**Keywords:** Remote sensing, GIS, transportation database, infrastructure management, Son La.

Submission received: 17/03/2025

Revised: 03/04/2025

Accepted: 05/04/2025

Published: 14/04/2025

## 1. Giới thiệu

Hiện tượng biến dạng sụt lún bề mặt đất là loại tai biến địa chất phổ biến trên thế giới và gây ảnh hưởng nghiêm trọng ở những vùng đô thị. Nó có thể là kết quả của nhiều yếu tố tác động như dịch chuyển kiến tạo, tác động do khai thác nước ngầm, nền đất yếu, gia tăng tải trọng ngoài v.v... Sụt lún đất thường diễn ra từ từ nhưng gây ra những tác hại rất nghiêm trọng, nhất là đối với các khu vực đô thị lớn đang phát triển hiện nay. Theo dõi hiện tượng này một cách thường xuyên cả trên diện rộng và những khu vực sụt lún mạnh là rất cần thiết và quan trọng hơn là nhằm mô phỏng, dự báo, phòng tránh và giảm thiểu tác hại của sụt lún đất cho các công trình kinh tế, dân sinh và kỹ thuật.

Bên cạnh đó, sụt lún đất đang là một thách thức rất lớn cho sự phát triển đô thị một bền vững đặc biệt là đô thị hạ lưu các con sông lớn như Thành phố Hồ Chí Minh. Khảo sát của Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản (JICA) mới đây cho thấy, tình trạng sụt lún nền đất ở TP.HCM diễn ra liên tục từ năm 1990 đến nay, với độ lún tích lũy đến nay ước tính khoảng 100cm. Tốc độ lún hiện nay khoảng 2-5cm mỗi năm. Riêng những khu vực tập trung như các công trình thương mại, tốc độ lún khoảng 7-8cm mỗi năm. Tốc độ lún nền đất cao gấp khoảng hai lần mực nước biển dâng (khoảng 1cm mỗi năm). Sụt lún đất kết hợp với triều cường và mực nước biển dâng làm cho nguy cơ TP.HCM ngày càng "chìm dần" và ảnh hưởng trực tiếp đến sự phát triển lâu dài của TP.HCM trong bối cảnh thích nghi với biến đổi khí hậu.



Hình 1. Khu vực có tốc độ lún trên 15mm/năm trên địa bàn TP.HCM (JICA, giai đoạn 2010 đến 2022)

Theo Cheryl Tay và cộng sự [1], thành phố Hồ Chí Minh xếp thứ 2 (sau Thiên Tân, Trung Quốc) trong 10 đô thị ven biển trên toàn thế giới về tốc độ "chìm dần" do lún mặt đất.

## 2. Các phương pháp đánh giá thực sụt lún đất tại khu vực thành phố Hồ Chí Minh

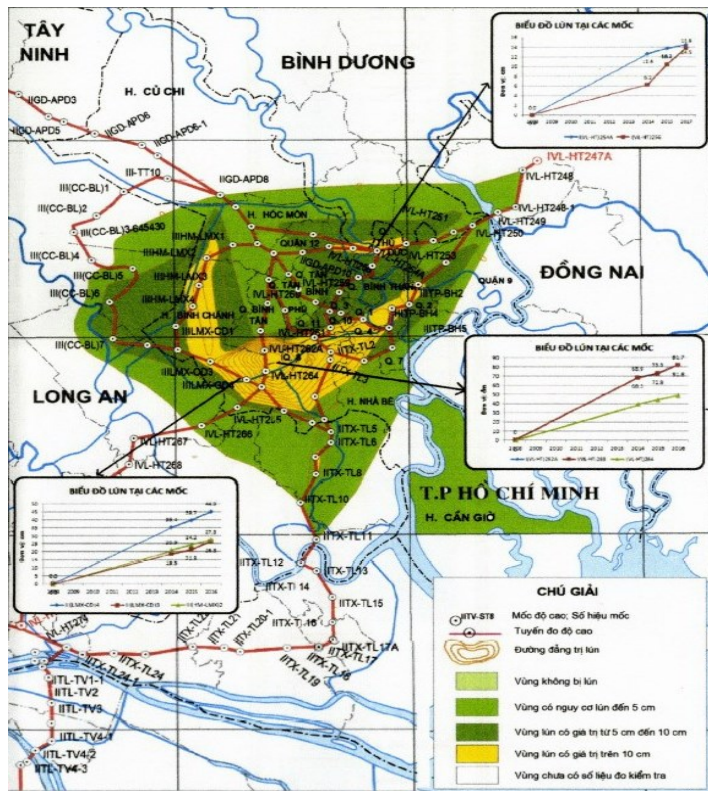
Để xác định hiện tượng lún mặt đất cũng như tốc độ lún, các phương pháp đo đạc trực tiếp như thủy chuẩn hình học, định vị vệ tinh GNSS được sử dụng trong quy mô không gian nhỏ, bên cạnh đó phương pháp đo vẽ từ xa như sử dụng dữ liệu LiDAR từ các cảm biến gắn trên thiết bị bay không người lái (UAV) hoặc sử dụng ảnh viễn thám radar để lập bản đồ sụt lún và quá trình diễn tiến của hiện tượng sụt lún theo thời gian cho các khu vực rộng lớn. Người ta có thể đo lún đất trên quy mô lớn bằng ảnh vệ tinh SAR dựa vào xử lý bằng phép đo giao thoa (InSAR) với độ chính xác cao từ không gian.

## 2.1 Phương pháp xác định lún mặt đất bằng phương pháp thủy chuẩn hình học

Năm 2013, Chính phủ giao Bộ Tài nguyên và Môi trường kiểm tra mốc độ cao quốc gia và triển khai dự án chống ngập tại Thành phố Hồ Chí Minh. Quan trắc năm 2014 cho thấy, trong 329 mốc độ cao, có 111 mốc bị mất (33,7%), 143 mốc lún từ 5cm đến hơn 70cm (43,5%), chỉ 75 mốc ổn định (22,8%). Hiện tượng lún từ 5 - 10cm tiếp tục diễn ra trên diện rộng, có nơi lún trên 70cm [2].

Năm 2016, Chính phủ yêu cầu tiếp tục quan trắc lún phục vụ quy hoạch và đo lặp thủy chuẩn hạng II. Giai đoạn 2005 - 2015, nhiều khu vực tại Thành phố Hồ Chí Minh lún trên 10cm, tổng diện tích bị ảnh hưởng 239km<sup>2</sup>, tập trung tại Bình Chánh, quận Bình Tân (phía Nam), Quận 8, Quận 7 (phía Tây), Quận 2 (cũ, phía Tây Bắc), Quận 12 (phía Đông), quận Thủ Đức (cũ, phía Tây Nam) và huyện Nhà Bè (phía Tây Bắc). Một số điểm có tốc độ lún cao như mốc I(VL-HT)262A (73,3cm/10 năm), I(VL-HT)263 (73,2cm/10 năm), I(VL-HT)264 (44cm/10 năm) [2].

Quan trắc hàng năm tiếp tục ghi nhận tốc độ lún gia tăng. Báo cáo 14/6/2019 cho thấy, từ 2005 - 2017, mốc I(VL-HT)262A lún 81,7cm/12 năm, I(VL-HT)263 lún 81,8cm/12 năm, I(VL-HT)264 lún 48,8cm/12 năm. Những số liệu này khẳng định sụt lún vẫn diễn ra và có xu hướng gia tăng, đòi hỏi biện pháp quản lý và khắc phục hiệu quả hơn [2].



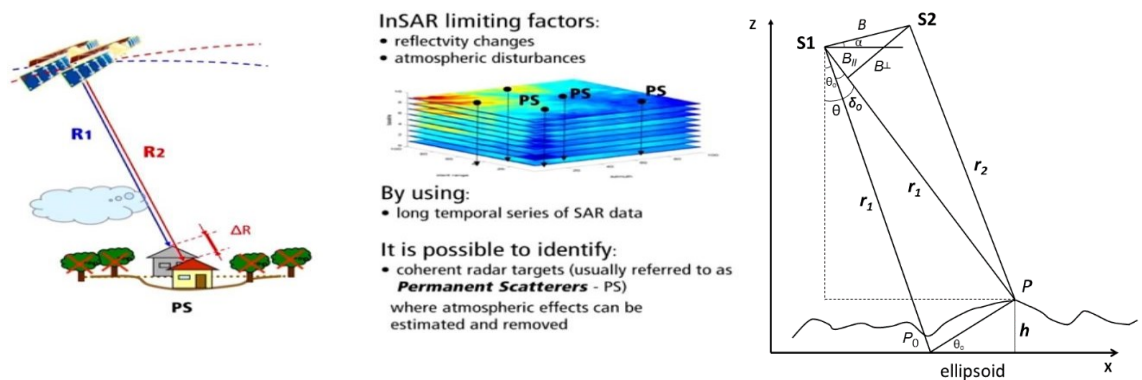
Hình 2. Kết quả quan trắc giai đoạn 2005 - 2017 khu vực TP.HCM [2]

Để đánh giá chi tiết mức độ lún, năm 2019, Thành phố triển khai dự án “Xác định lại cao độ hệ thống mốc độ cao bị sụt lún”, căn cứ vào 23 mốc cao độ hạng II do Bộ Tài nguyên và Môi trường cung cấp, kết hợp với 800 điểm mốc cao độ cũ của Thành phố.

Kết quả cho thấy, ngoài các vùng lún đã công bố, còn xuất hiện lún cục bộ tại huyện Củ Chi (HCC.156 lún 52,2 cm/12 năm), huyện Hóc Môn (HM.152 lún 23,6 cm/12 năm), Quận 9 (cũ) (Q09.022 lún 25,3 cm/12 năm) [3].

### 2.2. 2.2 Phương pháp xác định lún mặt đất bằng kỹ thuật InSAR

Nguyên lý InSAR là dựa trên sự kết hợp của hai ảnh SAR để khai thác thông tin hình học có trong độ lệch pha. Một sự khác biệt hình học nhỏ giữa hai lần thu ảnh đảm bảo sự liên kết với độ cao địa hình và sự thay đổi sụt lún. Nghịch đảo trị đo pha giao thoa sẽ cung cấp thông tin trực tiếp về địa hình bề mặt và sự biến dạng. Phương pháp InSAR có thể phát hiện chuyển động của một phần nhỏ bước sóng ra-đa (khoảng vài mm). Kể từ năm 2000, phân tích InSAR đa thời gian đã minh chứng cho khả năng tái tạo lại lịch sử biến dạng bề mặt với độ chính xác cao mức mm/năm.



Hình 3. Cơ sở hình học của kỹ thuật InSAR

Hai hệ thống radar S1 (Master) và S2 (Slave) chủ động phát sóng xuống cùng một khu vực trên mặt đất. B là khoảng cách giữa 2 ăngten hay gọi là đường đáy (Baseline),  $\theta$  là góc tới (góc nhìn),  $r_1$  và  $r_2$  là cự ly nghiêng từ ăngten tới điểm P trên mặt đất và  $\alpha$  là góc tạo bởi đường đáy và đường chân trời. Nếu không có biến dạng bề mặt xảy ra giữa hai hệ thống thu nhận ảnh radar, các giá trị pha ghi nhận được  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$  trong 2 ảnh chụp từ hai hệ thống radar đối với điểm P có thể được xem là tương đương với tổng của các thành phần khác nhau trong theo như hình sau:

$$\phi_1 = \frac{2r_1}{\lambda} 2\pi + \phi_{atm1} + \phi_{scat1} + \phi_{noise} \quad (1)$$

$$\phi_2 = \frac{2r_2}{\lambda} 2\pi + \phi_{atm2} + \phi_{scat2} + \phi_{noise} \quad (2)$$

Trong đó:

$\frac{2r_1}{\lambda} 2\pi$  và  $\frac{2r_2}{\lambda} 2\pi$  - đại lượng gây ra chậm (trễ) pha do khoảng cách đường truyền  $2r_1$  và  $2r_2$  từ bộ cảm biến S1 và S2 đến mục tiêu P trên mặt đất và phản xạ ngược lại;

$\phi_{atm1}$  và  $\phi_{atm2}$  - đại lượng hiệu chỉnh pha do sự thay đổi điều kiện khí quyển giữa hai lần nhận ảnh

$\phi_{scat1}$  và  $\phi_{scat2}$  - hệ số tán xạ do sự tương tác giữa sóng radar với các thành phần

tán xạ phức tạp trên bề mặt;

$\phi_{noise}$  - hệ số nhiễu phụ.

Giả sử hai ảnh được chụp trong điều kiện khí quyển và sóng phản xạ ngược trở lại của các đối tượng trên mặt đất là như nhau:

$$\phi_{atm1} = \phi_{atm2} \text{ và } \phi_{scat1} = \phi_{scat2}$$

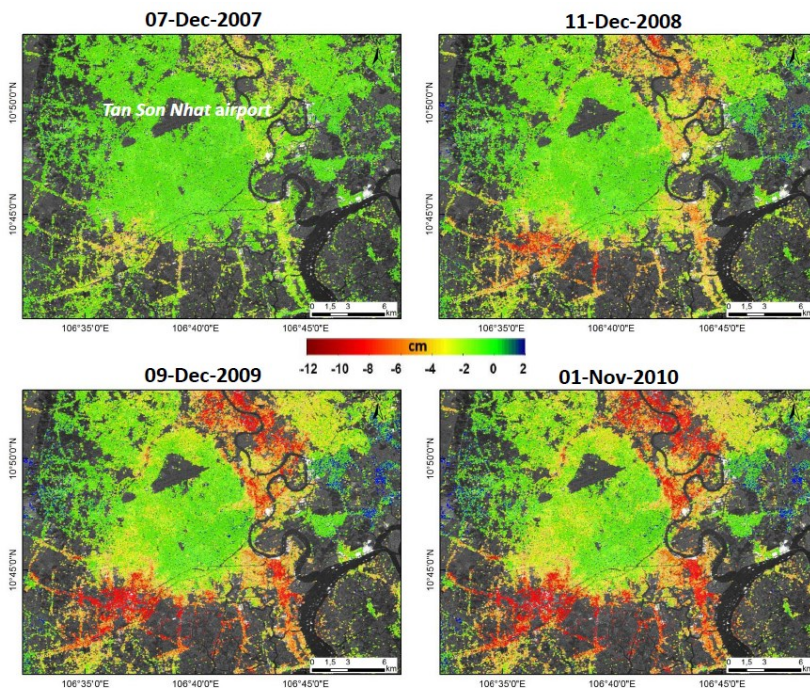
khi đó giá trị pha giao thoa sẽ được viết như sau:

$$\varphi = \phi_1 - \phi_2 = \frac{4\pi}{\lambda} (r_1 - r_2) = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta r \quad (3)$$

trong đó  $\Delta r$  là độ lệch thay đổi theo phương xiên (Light of sight - LOS) giữa  $r_1$  và  $r_2$ .

Giao thoa là khả năng độc đáo chỉ có ở ảnh radar chủ động do sử dụng một bước sóng duy nhất và kiểm soát được kể cả pha của sóng. Một phương diện cần chú ý nữa của giao thoa radar có ảnh hưởng quan trọng đến ứng dụng chính là từ đặc điểm khác nhau về thời gian của hai nguồn sóng giao thoa. Vì đặc điểm này, các ứng dụng giao thoa có một điểm chung quan trọng là nhận biết sự thay đổi bề mặt (về độ cao tương đối) theo thời gian

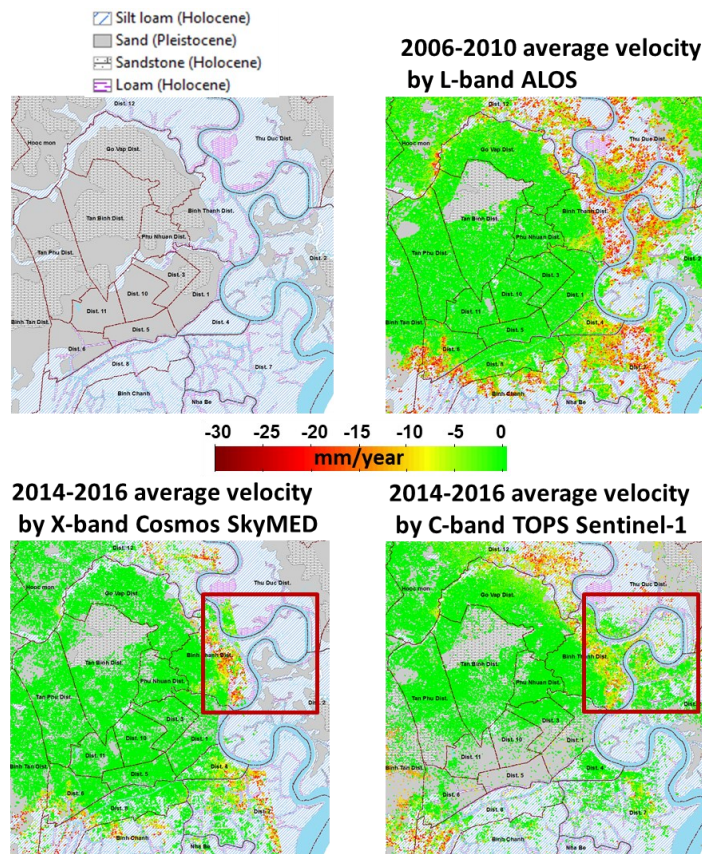
Năm 2008, Thành phố triển khai quan trắc bằng kỹ thuật InSAR vi phân để đánh giá hiện tượng lún đất bề mặt dựa trên 18 ảnh radar ALOS/PalSAR (Nhật). Kết quả cho thấy, từ 2007 - 2010, nhiều khu vực lún nghiêm trọng 25 - 30cm, tập trung tại Quận 5, 6, 7, 8, 12, Hóc Môn, Bình Tân, Tân Phú, Bình Thạnh, Thủ Đức [4].



Hình 4. Diễn tiến lún mặt đất giai đoạn từ 2007 đến 2010 bằng kỹ thuật InSAR [5]

Do vệ tinh ALOS/PalSAR 1 dừng hoạt động vào năm 2012, nhóm nghiên cứu dưới sự lãnh đạo của Hồ Tổng Minh Định và cộng sự đã tiếp tục sử dụng ảnh SAR của vệ tinh

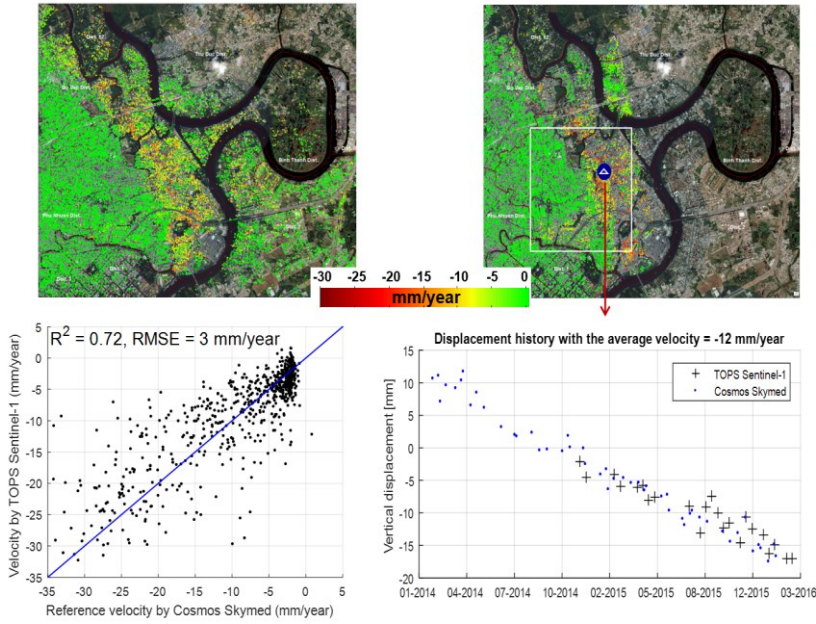
Cosmos SkyMED (X-Band) của Italia để nghiên cứu lún giai đoạn 2014-2016 với 49 ảnh và 23 ảnh Sentinel 1 (C-Band). Thuật toán sử dụng là PS kết hợp với DS để phân tích InSAR để theo dõi sụt lún đất tại TP.HCM trong giai đoạn này. Kết quả xử lý InSAR cho thấy sự tương đồng về tốc độ lún giữa ảnh Cosmos SkyMED và Sentinel 1. Từ năm 2015, chương trình quan sát Trái đất mang tên Copernicus do ủy ban châu Âu hợp tác với ESA đã dẫn đến việc triển khai sứ mệnh vệ tinh Sentinel-1 (2014), cung cấp ảnh SAR trên băng tần C trên toàn cầu với 12 ngày lặp lại và độ phân giải không gian 20 m (Torres và cộng sự, 2012). Do đó, Sentinel-1 cung cấp một cơ hội miễn phí và tốt nhất để theo dõi sụt lún đất từ trước đến nay. Do đó nhóm nghiên cứu đã sử dụng theo dõi tình trạng sụt lún đất ở nhiều nơi trên thế giới, đặc biệt có những ứng dụng nghiên cứu cho những thành phố lớn thuộc Đồng bằng sông Cửu Long, Hà Nội và Tp. HCM.



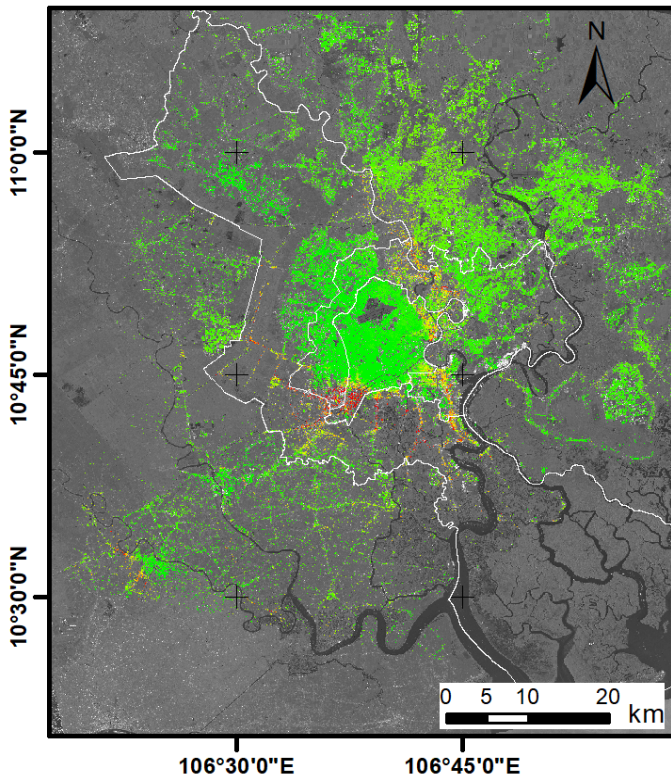
Hình 5. Diễn tiến lún mặt đất giai đoạn từ 2006 đến 2016 bằng kỹ thuật InSAR [6]

Năm 2015, Hồ Tổng Minh Định và cộng sự đã phát triển thành công nền tảng TomoSAR với việc kết hợp nâng cao giữa PS và DS thành ComSAR với ưu điểm khắc phục những hạn chế của các phần mềm trước đó do đưa vào quá trình xử lý ảnh hưởng thay đổi của địa hình bề mặt trái đất đến việc tín hiệu thu nhận của cảm biến gắn trên vệ tinh. Chính vì cải tiến phương pháp xử lý này kết quả xử lý của TomoSAR đạt độ chính xác cỡ milimet. Nhóm nghiên cứu bắt đầu triển khai xử lý InSAR trên nền tảng TomoSAR ảnh Sentinel – 1 (Band C) với chu kỳ/năm và công bố các kết quả nghiên cứu tại [7]. Tốc độ lún ở khu vực nội thành gồm các quận 1,3,5,6, 10, 11, Tân Bình, Tân Phú đã giảm và

ổn định dưới 1cm. Các khu vực quận 7, quận 8, quận Bình Tân, huyện Nhà Bè và dọc sông Sài Gòn, đặc biệt là khu Tân Cảng, Thảo Điền có tốc độ lún rất cao, thậm chí có nơi đến 5cm/năm. Kết quả xử lý có thể download tại <https://zenodo.org/record/5497723>.

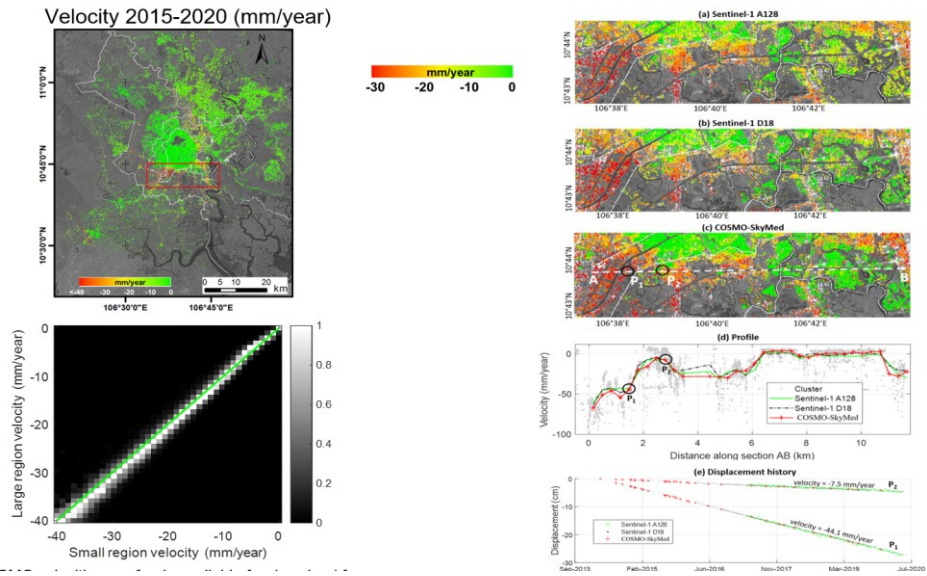


Hình 6. So sánh kết quả xử lý InSAR bằng kết hợp PS+DS ảnh Cosmos Skymed với Sentinel 1 [6]

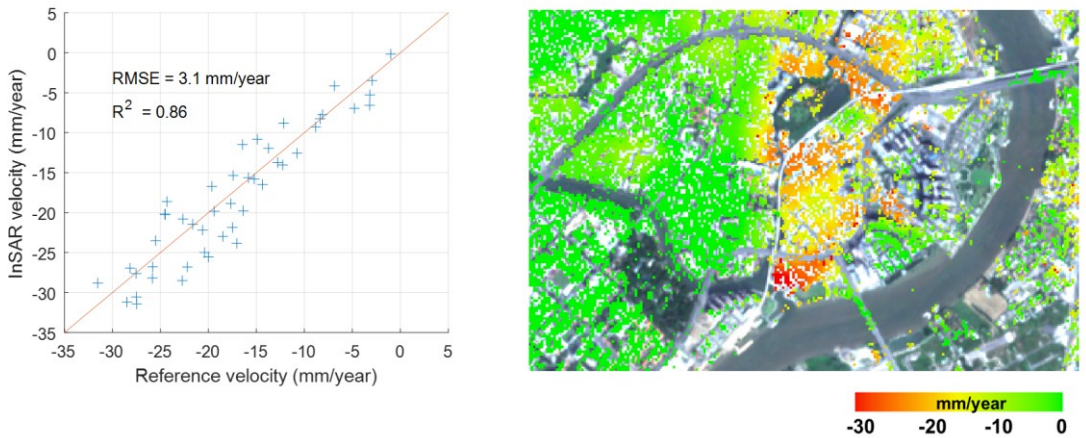


Hình 7. Tình trạng sụt lún đất tại TP.HCM giai đoạn 2015-2020 [7]

Các khu vực trong Hình 8 có tốc độ lún rất cao điển hình.



Hình 8. Tốc độ lún tại khu vực Quận 7, Quận 8 và Quận Bình Tân [7]

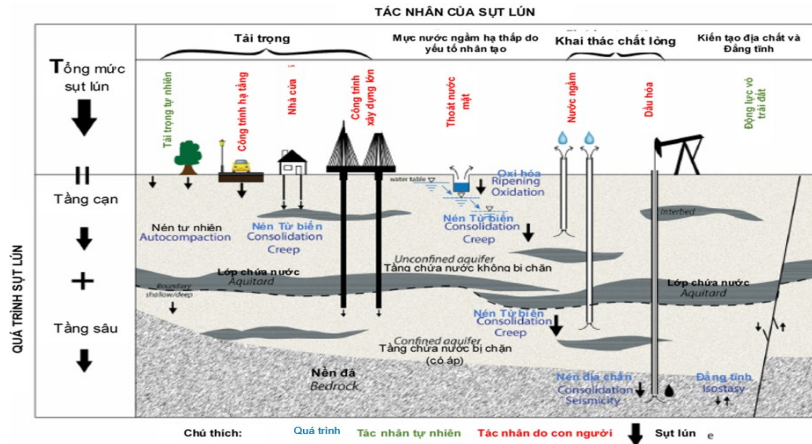


Hình 9. Tốc độ lún tại khu vực Tân Cảng và lân cận [7]

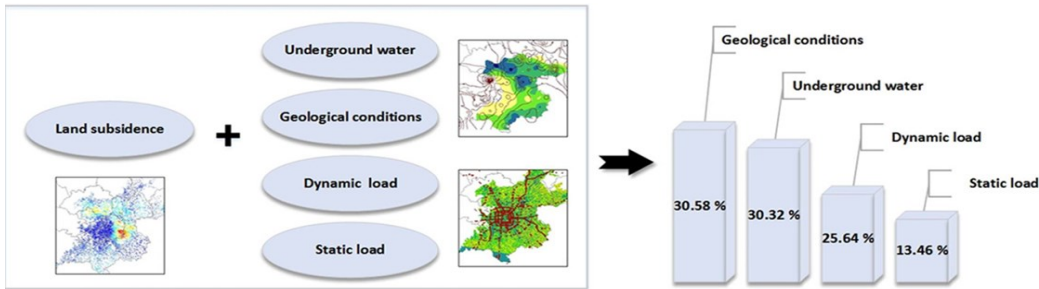
### 3. Phân tích các nguyên nhân tác động đến thực trạng sụt lún đất tại khu vực Thành phố Hồ Chí Minh

Theo Marie-Noëlle Woillez và các cộng sự thì tác nhân gây lún đất bề mặt bao gồm các yếu tố tải trọng, sự thay đổi bề mặt tự nhiên, khai thác nước dưới đất ảnh hưởng đến tầng nước ngầm, khai thác chất lỏng, yếu tố địa chất và địa chất kiến tạo [9]. Hình 10 thể hiện rõ các yếu tố này.

Tại khu vực đô thị, sụt lún đất được tạo thành bởi 4 tác nhân. Theo nghiên cứu về sụt lún đất tại thành phố Bắc Kinh, Trung Quốc của Chaofan Zhou và cộng sự công bố năm 2019 cho biết tỷ lệ phần trăm ảnh hưởng của các yếu tố này như sau: yếu tố địa chất chiếm 30.58%, nước dưới đất (địa chất thủy văn) chiếm 30.32%, tải trọng động (gồm đường bộ, đường sắt, đường sắt đô thị...) chiếm 25.64% và tải trọng tĩnh (nhà cao tầng, đô thị hóa...) chiếm 13.46% [10]. Các yếu tố đó được thể hiện trong Hình 11.



Hình 10. Các tác nhân gây nên hiện tượng sụt lún đất [9]



Hình 11. Tỷ lệ ảnh hưởng của các tác nhân gây lún đất tại TP. Bắc Kinh, Trung Quốc [10]

Từ đó có thể xác định các yếu tố chính gây sụt lún tại Thành phố Hồ Chí Minh:

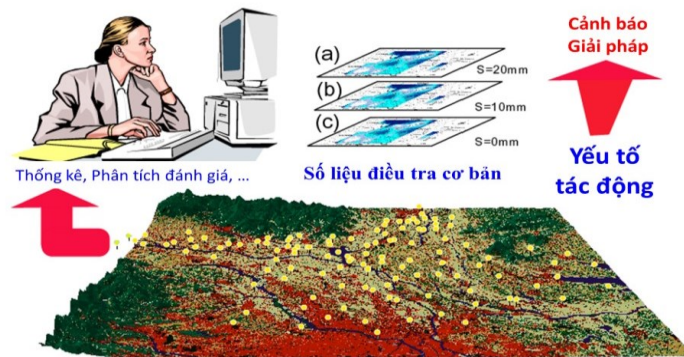
**(1) Nền địa chất yếu:** Các khu vực có tốc độ lún trên 10 mm/năm thường nằm trên nền địa chất yếu, ngay cả khi không có tác động từ xây dựng, giao thông hay khai thác nước ngầm. Điều này cho thấy địa chất, địa mạo đóng vai trò quan trọng trong biến dạng mặt đất. [6]

**(2) Hoạt động giao thông (tải động):** Các khu vực có lưu lượng xe tải, xe bồn, xe container lớn hoặc khu vực có tuyến đường sắt đô thị đi qua thường bị lún nhiều hơn do tác động tải trọng liên tục.

**(3) Công trình dân dụng, tốc độ đô thị hóa (tải tĩnh):** Nhà ở, chung cư, cao ốc có thể tác động đến bề mặt đất, nhưng nhờ công nghệ móng cọc hiện đại, ảnh hưởng này chủ yếu mang tính tạm thời, và nền đất có xu hướng ổn định theo thời gian.

**(4) Khai thác nước ngầm:** Trước năm 2010, đây là nguyên nhân chính gây sụt lún tại Gò Vấp, Tân Bình, Quận 12, Củ Chi. Hiện nay, Thành phố đã hạn chế cấp phép khai thác, kiểm soát công suất nên tốc độ lún giảm đáng kể và các khu vực khai thác dần ổn định hơn.

Tuy nhiên, việc lượng hóa chính xác mức độ tác động của từng yếu tố vẫn gặp khó khăn do dữ liệu khảo sát địa chất, địa mạo chưa đủ mật độ, ảnh hưởng đến khả năng mô phỏng và dự báo biến dạng mặt đất. Từ đó đề xuất mô hình mô phỏng, đánh giá biến dạng mặt đất theo sơ đồ trong Hình 12.



Hình 12. Biến dạng mặt đất theo không gian và thời gian .

Trên cơ sở đó nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng kỹ thuật phân tích hồi quy không gian (geospatial regression analysis) để dự báo tốc độ lún đất tại TP.HCM dựa trên chuỗi dữ liệu lún đất được xác định từ kỹ thuật InSAR với dữ liệu địa chất (từ bản đồ địa chất tỷ lệ 1:50.000), dữ liệu nước dưới đất (từ bản đồ địa chất thủy văn) được thu thập từ sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM. Phương trình hồi quy không gian có dạng sau:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon$$

Trong đó: - y – biến dự báo - là giá trị lún đất sự báo

-  $\beta_i$  – hệ số hồi quy

-  $x_i$  – các biến tác nhân độc lập gồm địa chất, địa chất thủy văn, công trình xây dựng (tải trọng tĩnh), công trình hạ tầng giao thông (tải trọng động) được tính theo ô 50mx50m từ dữ liệu địa chất, địa chất thủy văn, ảnh viễn thám, bản đồ địa hình, công trình xây dựng và giao thông...

-  $\epsilon$  – phần dư

#### 4. Kết luận

Bộ Tài nguyên và Môi trường đang triển khai dự án “Hiện đại hóa hệ thống độ cao quốc gia” theo Quyết định 375/QĐ-BTNMT ngày 01/3/2022, nhằm xây dựng hệ thống mốc độ cao ổn định lâu dài và xác định độ cao trung bình của mặt nước biển. Dự án triển khai từ 2022 - 2025, với việc xây dựng 04 mốc độ cao thế kỷ tại Đại học Quốc gia TP.HCM, UBND xã Nhuận Đức (huyện Củ Chi), Khu văn hóa Láng Le (huyện Bình Chánh) và Nhà thiếu nhi huyện Cần Giờ, cùng 02 mốc giáp ranh tại Đồng Nai và Long An. Công tác đo thủy chuẩn đã hoàn thành năm 2023, các chu kỳ đo quan trắc tiếp theo diễn ra vào 2024 và 2025, sau đó bàn giao dữ liệu cho địa phương khai thác, sử dụng.

Bên cạnh các phương pháp đo đạc truyền thống như thủy chuẩn hình học, GNSS, để khảo sát diện rộng với chi phí tối ưu, công nghệ viễn thám LiDAR trên UAV và ảnh radar InSAR được áp dụng để lập bản đồ sụt lún theo thời gian. Từ năm 2000, kỹ thuật InSAR đa thời gian đã được sử dụng tại nhiều quốc gia, với các dự án quy mô lớn như TerraFirma

(2003-2014), PanGeo (2011-2014). Đặc biệt, từ năm 2015, chương trình Copernicus của Ủy ban châu Âu hợp tác với ESA đã triển khai vệ tinh Sentinel-1, cung cấp ảnh SAR có độ phân giải cao và chu kỳ lặp 12 ngày, giúp theo dõi sụt lún đất chính xác hơn. Công nghệ này đã được áp dụng thành công tại Hà Nội, TP.HCM và có thể tiếp tục được triển khai để quan trắc sụt lún đô thị trên phạm vi rộng, hỗ trợ công tác quy hoạch và ứng phó với biến đổi khí hậu.

Sụt lún bề mặt đất tại TP.HCM đã là một thực tế khách quan hiện hữu mà thành phố cần phải đối diện và có giải pháp ứng phó lâu dài. Đây là một tai biến địa chất phổ biến, ảnh hưởng nghiêm trọng đến các đô thị lớn, đặc biệt là những khu vực có nền địa chất yếu, khai thác nước ngầm quá mức, tải trọng xây dựng cao và tác động từ dịch chuyển kiến tạo. Dù diễn ra từ từ, nhưng hậu quả của sụt lún đất kết hợp với biến đổi khí hậu, thời tiết cực đoan, triều cường gia tăng sẽ gây nên những hậu quả rất nghiêm trọng, gây thiệt hại lớn đến hạ tầng kỹ thuật, công trình dân sinh và phát triển kinh tế - xã hội. Thành phố Hồ Chí Minh đang đối diện với nguy cơ sụt lún và ngập lụt trên diện rộng, đang bị vào thành phố có nguy cơ thứ 2 trong nhóm 10 “Thành phố đang chìm” (Sinking City) nhanh nhất trên thế giới. Do đó, việc theo dõi thường xuyên, mô phỏng, dự báo sụt lún mặt đất để đưa ra giải pháp thích nghi là hết sức cần thiết. Với mục tiêu xây dựng đô thị thông minh vào năm 2025, Thành phố đã triển khai cơ sở dữ liệu dùng chung, kế hoạch xây dựng Trung tâm nghiên cứu mô phỏng và dự báo phát triển kinh tế - xã hội, đô thị và môi trường (1011/KH-UBND). Để ứng phó hiệu quả với sụt lún, Thành phố cần xây dựng hệ thống giám sát và dự báo sụt lún nền đất một cách thường xuyên, áp dụng công nghệ hiện đại, nhằm hỗ trợ chính quyền đưa ra quyết sách phù hợp với điều kiện tự nhiên và phát triển bền vững. Hệ thống này cần xác định được tốc độ lún theo thời gian kết hợp với mô phỏng được tác động của các yếu tố nhân sinh như quy hoạch đô thị, phát triển giao thông, hay mở rộng xây dựng. Mô hình hồi quy và trí tuệ nhân tạo có thể định lượng mức độ ảnh hưởng của các tác nhân gây lún, nhưng vẫn chưa có phương pháp mô phỏng chính xác khi xuất hiện các tác động mới trong tương lai. Hệ thống mô hình mô phỏng dự báo biến dạng mặt đất do nhóm tác giả đề nghị được thể hiện như Hình 13.

Việc sớm triển khai hệ thống thông tin mô phỏng và dự báo biến dạng mặt đất sẽ giúp thành phố Hồ Chí Minh có những giải pháp ứng phó kịp thời, giúp hỗ trợ ra quyết định nhanh chóng, chính xác, nâng cao năng lực quản lý góp phần quản lý đô thị một cách hiệu quả, thích nghi với biến đổi khí hậu và phát triển bền vững.



Hình 13. Hệ thống mô phỏng dự báo biến dạng mặt đất.



## Lời cảm ơn

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của Sở Khoa học và Công nghệ TP.HCM theo QĐ số 197/QĐ-SKHHCN trong suốt quá trình nghiên cứu và công bố bài báo này.

## Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết đã thống nhất và đồng thuận trong việc công bố các kết quả nghiên cứu, đồng thời không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến nội dung được trình bày trong bài báo này.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Cheryl Tay, Eric O. Lindsey, Shi Tong Chin, Jamie W. McCaughey, David Bekaert, Michele Nguyen, Hook Hua, Gerald Manipon, Mohammed Karim, Benjamin P. Horton, Tanghua Li & Emma M. Hill. Sea-level rise from land subsidence in major coastal cities: *Nature Sustainability* volume 5, pages 1049–1057 (2022). DOI:10.1038/s41893-022-00947-z
- [2] Sở Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh. Báo cáo kết quả thực hiện dự án Xác định lại cao độ hệ thống mốc độ cao đã bị sụt lún trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh (2019);
- [3] Sở Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh. Báo cáo kết quả kiểm tra hệ thống mốc độ cao và quan trắc lún tại khu vực Thành phố Hồ Chí Minh (2024).
- [4] Sở Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh. Báo cáo kết quả thực hiện dự án Quan trắc biến dạng mặt đất khu vực Thành phố Hồ Chí Minh bằng kỹ thuật InSAR vi phân (2007-2012);
- [5] Lê Văn Trung, Hồ Tổng Minh Định. Ứng dụng kỹ thuật InSAR vi phân trong quan trắc biến dạng mặt đất khu vực Thành Phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí phát triển KH&CN*, tập 11, số 12-2008;
- [6] D. Ho Tong Minh, Le Van Trung and T. Le Toan. Mapping ground subsidence phenomena in Ho Chi Minh City through the radar interferometry technique using ALOS PALSAR data. *Remote Sensing*, vol.7, pp.8543-8562, Jul. 2015;
- [7] Dinh HO TONG MINH, Yen-Nhi NGO, Thu Trang LE, Trung Chon LE, Hong Son BUI, Quoc Viet VUONG, Thuy LE TOAN. . Quantifying Horizontal and Vertical Movements in Ho Chi Minh City by Sentinel-1 Radar Interferometry. *Preprints* 2020, 2020120382. Website: www.preprints.org (Posted: 10 September 2021);
- [8] Le Trung Chon, Ho Tong Minh Dinh, Huynh Quyen, Bui Hong Son. “Monitoring land subsidence using InSAR technique. Ho Chi Minh City and Mekong Delta case studies”. NASA -LUCLC Int’l Meeting. Hanoi Feb, 2024
- [9] Marie-Noëlle Woillez, Sepehr Eslami Arab, Philip S. J. Minderhoud, Hong-Quan Nguyen. Chapter 9, A question of water; Climate Change in Vietnam, Impacts and Adaptation; A COP26 assessment report of the GEMME Viet Nam Project
- [10] Chaofan Zhou, Huili Gong, Beibei Chen, Xiaojuan Li, Jiwei Li, Xu Wang, Mingliang Gao, Yuan Si, Lin Guo, Min Shi, Guangyao Duan. Quantifying the contribution of multiple factors to land subsidence in the Beijing Plain, China with machine learning technology. *Geomorphology*, Volume 335, 15 June 2019, Pages 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.017>
- [11] Quyết định số 5086/QĐ-UBND ngày 28 tháng 11 năm 2019 của Ủy ban nhân dân Thành phố về Quy chế tích hợp, quản lý, vận hành, khai thác Kho dữ liệu dùng chung của thành phố;
- [12] Các website: <https://scihub.copernicus.eu> (Ảnh Sentinel-1 do Cơ quan Vũ trụ Châu Âu cung cấp); <http://www.w3c.org> (Các mô hình và chuẩn mở do W3C ban hành); <http://www.opengis.org> (Các mô hình và chuẩn mở do Open Geospatial Consortium đề xuất).

