

MỐI LIÊN HỆ GIỮA MỨC ĐỘ KHAI THÁC NƯỚC NGẦM VÀ HIỆN TƯỢNG SỤT LÚN ĐẤT TẠI KHU VỰC KIÊN GIANG: MINH CHỨNG ĐỊNH LƯỢNG TỪ DỮ LIỆU QUAN TRẮC

Nguyễn Thái Sơn⁽¹⁾, Vũ Thị Hoài Thu⁽²⁾, Triệu Ánh Ngọc⁽³⁾, Nguyễn Hữu Huê⁽³⁾

⁽¹⁾Sở Nông nghiệp và Môi trường Tỉnh An Giang

⁽²⁾Trường Đại học Giao Thông Vận Tải TP Hồ Chí Minh

⁽³⁾Trường Đại học Thủy Lợi

Ngày nhận bài: 19/8/2025; ngày gửi phản biện: 20/8/2025; ngày chấp nhận đăng: 08/9/2025

Tóm tắt: Khu vực Kiên Giang (nay thuộc Tỉnh An Giang) ở Đồng bằng Sông Cửu Long đang đối mặt với nguy cơ sụt lún đất gia tăng do khai thác nước ngầm quá mức. Nghiên cứu này phân tích hiện trạng khai thác nước dưới đất từ các tầng chứa Holocene và Pleistocene, phân bố giếng khai thác và diễn biến mực nước ngầm trong 20 năm (2000-2020). Kết quả cho thấy toàn khu vực có khoảng 93.000 giếng khoan, gần như toàn bộ tập trung trong các tầng chứa nước Pleistocene, với tổng lượng khai thác hiện nay xấp xỉ 197.000 m³/ngày - tăng gấp nhiều lần so với đầu những năm 2000. Việc bơm hút liên tục đã làm mực nước ngầm hạ thấp đáng kể (~0,1-0,4 m/năm ở những nơi khai thác mạnh), giảm áp lực nước lỗ rỗng và gây cố kết đất. Phân tích ảnh radar giao thoa (InSAR) cho thấy tốc độ sụt lún bề mặt lên tới vài cm/năm tại các khu vực khai thác nước ngầm mạnh, phù hợp với sự trùng khớp không gian giữa vùng mực nước hạ thấp và vùng đất bị lún. Phân tích tương quan định lượng khẳng định mối quan hệ chặt chẽ giữa cường độ khai thác nước với tốc độ hạ thấp mực nước ngầm (hệ số Pearson ~0,9), cũng như giữa tốc độ hạ thấp mực nước với tốc độ sụt lún đất. Những phát hiện này nhấn mạnh nhu cầu cấp thiết về quản lý nước ngầm bền vững - bao gồm kiểm soát khai thác, phát triển các nguồn nước thay thế - và tăng cường giám sát sụt lún nhằm giảm thiểu rủi ro môi trường, đảm bảo phát triển bền vững cho khu vực Kiên Giang cũng như toàn vùng Đồng bằng Sông Cửu Long.

Từ khóa: Sụt lún đất, khai thác nước ngầm, hạ thấp mực nước, ảnh viễn thám radar (InSAR).

1. Mở đầu

Khai thác nước ngầm quá mức là một trong những nguyên nhân chính gây sụt lún đất ở nhiều vùng đồng bằng ven biển trên thế giới. Nhiều đô thị đồng bằng như Bangkok, Jakarta, Thượng Hải đã trải qua tốc độ sụt lún nghiêm trọng (tới ~10-25 cm/năm) sau hàng thập kỷ bơm nước dưới đất không kiểm soát, dẫn đến ngập lụt và hư hại hạ tầng cho đến khi chính quyền áp dụng các biện pháp hạn chế khai thác. Những trường hợp này cho thấy hậu quả thảm khốc của việc khai thác nước ngầm thiếu bền vững [1], [2], [3]. Tại Đồng bằng Sông Cửu Long

(ĐBSCL) ở Việt Nam, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra mối liên hệ chặt chẽ giữa khai thác nước ngầm và sụt lún đất: Bơm hút kéo dài làm giảm áp lực nước lỗ rỗng trong các tầng chứa, gây cố kết trầm tích mềm và làm bề mặt đất hạ thấp dần [4], [5]. Ngoài tác động trực tiếp của con người, khu vực ĐBSCL còn chịu ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên làm lún đất như sự suy giảm bồi lắng phù sa do xây dựng đập thượng nguồn [6], [7]. Khu vực Kiên Giang nằm ở vùng cực Tây Nam ĐBSCL cũng đang ghi nhận các dấu hiệu sụt lún, phần lớn gắn liền với hoạt động khai thác nước ngầm mạnh tại địa phương. Đáng chú ý, đầu năm 2024 Khu vực Kiên Giang đã phải ban bố tình trạng khẩn cấp tại vùng U Minh Thượng do sụt lún đất gây nứt gãy đường giao thông sau

Liên hệ tác giả: Triệu Ánh Ngọc

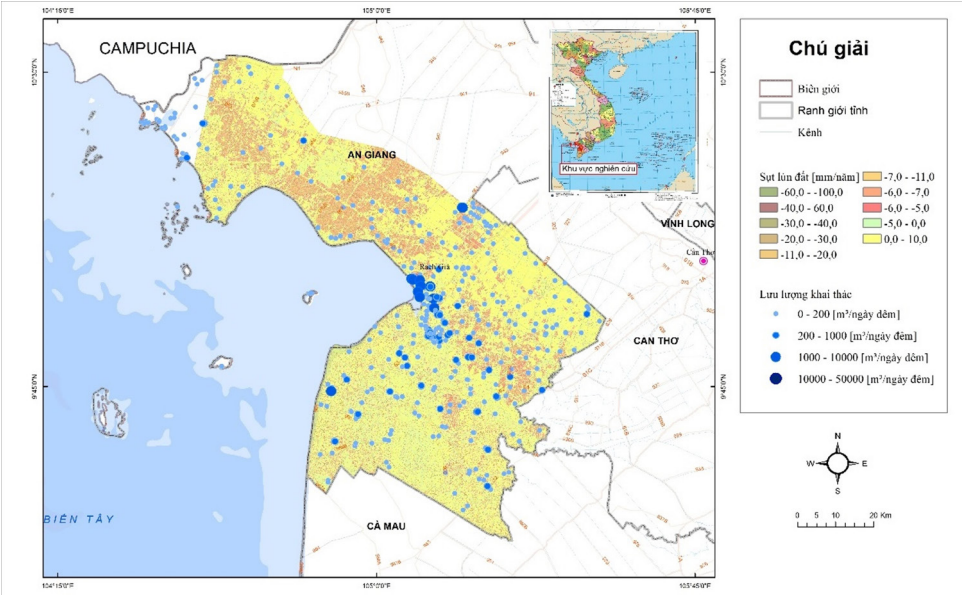
Email: ngocta@tlu.edu.vn

đợt hạn hán kéo dài [8]. Mặc dù đã có những cảnh báo chung [6], đến nay mối liên hệ định lượng giữa khai thác nước ngầm và sụt lún đất ở Kiên Giang vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích dữ liệu quan trắc hiện có để làm sáng tỏ mối quan hệ nhân quả nói trên, cung cấp cơ sở khoa học phục vụ quản lý bền vững nguồn nước ngầm và giảm thiểu rủi ro sụt lún cho địa phương.

2. Giới thiệu về vùng nghiên cứu

Khu vực Kiên Giang (tỉnh Kiên Giang cũ) là một vùng ven biển ở Tây Nam Việt Nam nay thuộc Tỉnh An Giang, phía Tây Bắc giáp Campuchia, phía tây và Tây Nam giáp vịnh Thái Lan. Khu vực này có địa hình rất thấp và phẳng: Phần lớn diện

tích ~6.300 km² (không kể các đảo) là đồng bằng châu thổ với cao độ vài mét so với mực nước biển. Khí hậu mang tính nhiệt đới gió mùa, với hai mùa mưa và khô rõ rệt; mùa khô kéo dài từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Lượng mưa trung bình năm khá cao (>2.000 mm), nhưng phân bố không đều theo mùa; vào mùa khô, nhiều khu vực bị thiếu nước mặt nên người dân phải phụ thuộc đáng kể vào nước ngầm cho sinh hoạt và tưới tiêu. Hình 1 dưới đây thể hiện phân bố khai thác nước ngầm tại khu vực Kiên Giang trên nền bản đồ sụt lún từ kết quả InSAR. Có thể thấy các vùng đất yếu có mức khai thác lớn tập trung nhiều giếng khoan, trùng với nơi có tốc độ lún cao; ngược lại, khu vực ven biển Tây Bắc hầu như ít giếng khai thác và mức lún đo được rất thấp.



Hình 1. Bản đồ sụt lún Khu vực Kiên Giang theo InSAR và các điểm khai thác nước ngầm

Về địa chất - thủy văn, Khu vực Kiên Giang được cấu tạo bởi các trầm tích Độ Tứ dày, bao gồm một tầng chứa nước Holocene nông và nhiều tầng chứa nước Pleistocene nằm sâu hơn. Tầng chứa nước Holocene (ký hiệu qh, độ sâu phân bố khoảng 5-30 m) gồm các trầm tích trẻ (cát, sét, bùn và than bùn) và chủ yếu là tầng chứa không áp. Tuy nhiên, nước trong tầng qh này thường bị nhiễm mặn hoặc nhiễm phèn (hàm lượng sắt cao) ở các vùng ven biển và khu vực đất than bùn U Minh, làm hạn chế

khả năng khai thác cho mục đích cấp nước sinh hoạt [9], [10]. Bên dưới là hệ thống các tầng chứa nước Pleistocene: Pleistocene trên (qp₃, độ sâu ~30-80 m), Pleistocene giữa (qp₂₋₃, ~80-200 m) và Pleistocene dưới (qp₁, >200 m). Các tầng Pleistocene này cấu tạo bởi cát hạt thô lẫn cuội sỏi, độ thấm cao, được ngăn cách nhau bởi những lớp sét dày đóng vai trò tầng cách nước. Nguồn nước trong các tầng Pleistocene phần lớn là nước ngọt trên phạm vi toàn khu vực và hiện đang là nguồn khai thác chính phục vụ sinh

hoạt, nông nghiệp và công nghiệp. Trong khoảng 20 năm trở lại đây, cường độ khai thác nước dưới đất tăng mạnh đã làm mực nước trong các tầng Pleistocene suy giảm đáng kể, dấy lên lo ngại về nguy cơ suy thoái tầng chứa và sụt lún địa chất ở những vùng đất yếu (ví dụ khu vực đất than bùn U Minh Thượng).

3. Phương pháp nghiên cứu

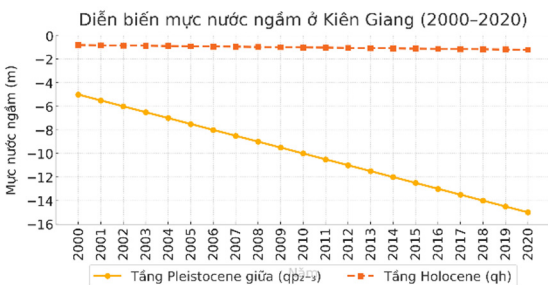
Để thực hiện nghiên cứu, nhóm tác giả đã thu thập cơ sở dữ liệu về các giếng khai thác nước dưới đất trên địa bàn khu vực Kiên Giang từ Sở Nông nghiệp và Môi trường Tỉnh An Giang (trước đây là Sở Tài nguyên và Môi trường Kiên Giang). Bộ dữ liệu này bao gồm vị trí các giếng, độ sâu khoan, tầng chứa nước được khai thác, và lưu lượng khai thác báo cáo, được tổng hợp theo từng vùng. Bên cạnh đó, số liệu quan trắc mực nước ngầm giai đoạn 2000-2020 tại một số giếng quan trắc thuộc các tầng chứa nước chính cũng được sử dụng để phân tích diễn biến hạ thấp mực nước theo thời gian. Nhóm nghiên cứu đồng thời tổng hợp các thông tin, báo cáo về hiện tượng sụt lún đất đã ghi nhận tại địa phương (ví dụ: Các sự cố hư hại hạ tầng nghi do lún, tin tức từ báo chí) để bước đầu xác định những khu vực có dấu hiệu bất ổn địa chất liên quan đến sụt lún. Ngoài ra, ảnh radar giao thoa (InSAR) từ vệ tinh đã được xử lý để ước tính tốc độ sụt lún bề mặt trung bình trong giai đoạn gần đây trên toàn khu vực, làm cơ sở đối chứng với dữ liệu khai thác nước và hạ thấp mực nước ngầm. Do phạm vi nghiên cứu rộng và giới hạn về dữ liệu, nghiên cứu không sử dụng mô hình số chi tiết mà tập trung vào phân tích thống kê và đối sánh không gian. Cụ thể, chúng tôi phân tích tương quan giữa cường độ khai thác và mức độ suy giảm mực nước, cũng như giữa mức

độ suy giảm mực nước và tốc độ sụt lún, đồng thời chồng lớp các bản đồ phân bố để so sánh trực quan những khu vực khai thác mạnh với các khu vực có tốc độ lún cao. Cách tiếp cận này cho phép định lượng mối quan hệ nhân quả một cách đơn giản và trực quan, làm sáng tỏ mức độ đóng góp của việc khai thác nước ngầm đối với sụt lún đất. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng và trích dẫn các kết quả InSAR đã công bố để ước tính tốc độ sụt lún trung bình trên toàn khu vực, phục vụ đối chiếu với dữ liệu khai thác và hạ thấp mực nước ngầm [12].

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Phân bố khai thác nước ngầm theo tầng chứa

Kết quả thống kê cho thấy có sự chênh lệch rõ rệt trong mức độ phát triển khai thác giữa các tầng chứa nước ở Kiên Giang. Phần lớn các giếng khoan khai thác trong vùng nghiên cứu được bố trí trong các tầng chứa nước Pleistocene nằm sâu, trong khi tầng nước nông Holocene hầu như không được sử dụng. Cụ thể, trong tổng số khoảng 93.000 giếng trên toàn khu vực, có tới hơn 99% tập trung ở các tầng Pleistocene, còn tầng Holocene chỉ có vài trăm giếng (chưa đến 1%). Tầng Pleistocene giữa (qp_{2-3}) là tầng được khai thác nhiều nhất, chiếm khoảng 78% tổng số giếng (xấp xỉ 72.000 giếng). Tiếp đến là tầng Pleistocene trên (qp_3) với khoảng 18.000 giếng (~19,5%), và tầng Pleistocene dưới (qp_1) với khoảng 2.000 giếng (~2%). Ngược lại, tầng Holocene (qh) chỉ có cỡ vài trăm giếng khoan (<0,5%) do nguồn nước nông này thường có chất lượng kém, ít được lựa chọn để khai thác cấp nước. Tỷ lệ phân bố nói trên được minh họa trong Bảng 1 - gần như toàn bộ lượng khai thác thuộc về các tầng chứa Pleistocene.



Hình 2. Diễn biến mực nước ngầm trung bình giai đoạn 2000-2020 tại Khu vực Kiên Giang ở hai tầng chứa khác nhau: Holocene (qh) và Pleistocene giữa (qp_{2-3})

Bảng 1. Thống kê đặc trưng các tầng chứa nước và số lượng giếng khai thác tại khu vực Kiên Giang

Tầng chứa	Độ sâu phân bố (m)	Số lượng giếng (ước tính)
Holocene (qh)	~5 - 30	~300 (< 1%)
Pleistocene trên (qp ₃)	~30 - 80	~18.000 (~19%)
Pleistocene giữa (qp ₂₋₃)	~80 - 200	~72.000 (~78%)
Pleistocene dưới (qp ₁)	> 200	~2.000 (~2%)

Xu hướng tập trung khai thác vào các tầng Pleistocene sâu có thể giải thích bởi các tầng này có trữ lượng và chất lượng nước tốt hơn (nguồn nước ngọt, lưu lượng lớn), trong khi tầng nông bị hạn chế bởi nước nhiễm mặn/phèn như đã đề cập ở trên [9], [10]. Trong 20 năm qua, song song với việc gia tăng khai thác, mực nước ngầm tại Kiên Giang cho thấy xu hướng hạ thấp rõ rệt ở các tầng chứa Pleistocene nằm sâu, trái ngược với tầng Holocene nông gần như ổn định do ít khai thác. Cụ thể, số liệu quan trắc cho thấy mực nước ở các giếng Pleistocene đã giảm từ khoảng 5 m dưới mặt đất (năm 2000) xuống khoảng 15 m (năm 2020) - tức mất khoảng 10 m trong 20 năm, tương đương tốc độ hạ thấp trung bình ~0,5 m/năm. Ngược lại, mực nước tầng Holocene hầu như không suy giảm đáng kể (chỉ khoảng 0,5 m trong 20 năm, tương đương <0,05 m/năm). Hình 2 minh họa xu thế trái ngược này giữa hai tầng chứa: Tầng Pleistocene sụt nhanh, trong khi tầng Holocene gần như không đổi, cho thấy tác động của việc khai thác nước ngầm mạnh đã làm mực nước tầng sâu hạ thấp dần, còn tầng nông ít khai thác thì mực nước ổn định hơn.

Bên cạnh sự khác biệt về số lượng giếng giữa các tầng chứa, cường độ khai thác nước ngầm ở Kiên Giang cũng tăng mạnh theo thời gian. Tổng lưu lượng khai thác báo cáo trên toàn khu vực vào khoảng đầu những năm 2000 chỉ ở mức vài chục nghìn m³/ngày, nhưng đến giai đoạn 2010-2011 đã tăng lên xấp xỉ 197.000 m³/ngày [9]. Hiện nay, tổng lượng khai thác ước tính khoảng 200.000 m³/ngày - gấp nhiều lần so với 20 năm trước. Điều này phản ánh nhu cầu sử dụng nước ngầm ngày càng lớn cho sinh hoạt, sản xuất và nuôi trồng ở địa phương. Việc khai thác ồ ạt dồn vào các tầng chứa Pleistocene sâu đồng nghĩa với việc áp lực nước trong các tầng này giảm sút tập trung, kéo theo nguy cơ cố kết đất và sụt lún

tập trung ở những khu vực khai thác mạnh.

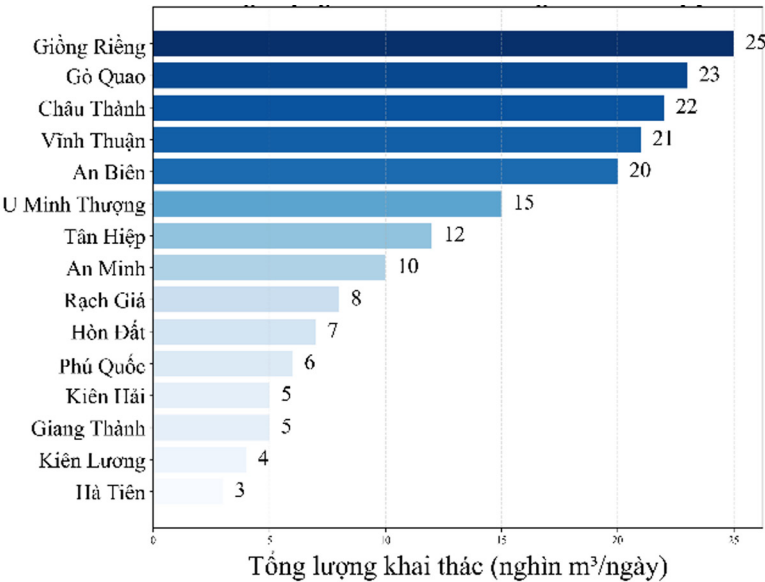
4.2. Phân bố khai thác và diễn biến mực nước ngầm

Hoạt động khai thác nước ngầm khu vực Kiên Giang (tỉnh Kiên Giang trước đây) phân bố không đồng đều trên phạm vi toàn khu vực - một số khu vực có mức khai thác cao hơn hẳn so với nơi khác. Phân tích dữ liệu theo địa bàn hành chính cho thấy tổng lượng khai thác khoảng 197.000 m³/ngày nêu trên tập trung chủ yếu ở các vùng phía Đông và Nam của khu vực. Chẳng hạn, các vùng Giồng Riềng, Gò Quao, Châu Thành, Vĩnh Thuận và An Biên đều có lưu lượng khai thác ước tính mỗi nơi xấp xỉ 20.000-25.000 m³/ngày, thuộc nhóm cao nhất toàn khu vực. Ngược lại, các địa bàn ven biển phía Tây Bắc như Kiên Lương, Hà Tiên có mức sử dụng nước ngầm rất thấp (chỉ vài nghìn m³/ngày trở xuống), do dân cư thưa thớt và nước dưới đất khu vực này bị nhiễm mặn nên không thích hợp để khai thác quy mô lớn. Hình 3 thể hiện sự chênh lệch về tổng lượng khai thác giữa các vùng - màu cột càng đậm biểu thị lưu lượng khai thác càng lớn.

Mô hình phân bố khai thác trên cho thấy sự tương quan với các yếu tố dân số và phát triển kinh tế: Những nơi khai thác nhiều thường là các vùng đông dân hoặc có hoạt động sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản quy mô lớn (ví dụ vùng U Minh Thượng), dẫn đến nhu cầu nước rất cao. Điều này cũng đồng nghĩa rằng một số vùng đang chịu áp lực nước ngầm lớn hơn hẳn vùng khác, tiềm ẩn nguy cơ hạ thấp mực nước ngầm và sụt lún cục bộ cao hơn ở những nơi khai thác mạnh. Về diễn biến mực nước ngầm theo thời gian, số liệu quan trắc dài hạn cho thấy mực nước dưới đất ở Kiên Giang đang có xu hướng suy giảm liên tục tại nhiều khu vực, đặc biệt là ở các tầng chứa Pleistocene đang bị khai thác mạnh. Số liệu quan trắc cũng cho thấy mực nước tầng Pleistocene có tốc độ hạ thấp trung

bình $\sim 0,5$ m/năm từ khoảng 5 m dưới mặt đất vào năm 2000 nhưng đã giảm dần xuống khoảng 15 m vào năm 2020. Việc mực nước ngầm giảm sâu với tốc độ nêu trên cho thấy tầng chứa nước không có khả năng phục hồi (bổ cập) kịp so với

lượng khai thác, lâu dần dẫn đến cạn kiệt nguồn nước và các hậu quả địa chất. Bên cạnh nguy cơ sụt lún, việc hạ thấp mực nước còn làm tăng xâm nhập mặn vào các tầng chứa ven biển, đe dọa chất lượng nguồn nước ngầm [10], [11].



Hình 3. Tổng lượng khai thác nước ngầm trung bình tại một số vùng của khu vực Kiên Giang (đơn vị: nghìn m³/ngày)

4.3. Tốc độ sụt lún đất và tương quan với hạ thấp mực nước

Kết quả phân tích ảnh InSAR [12] cho thấy nhiều khu vực ở Kiên Giang đang bị sụt lún với tốc độ đáng kể. Các vùng đất yếu hoặc đất than bùn có hoạt động khai thác nước ngầm (như U Minh Thượng, An Biên) đều ghi nhận lún bề mặt rõ rệt, trong khi những nơi địa chất cứng hơn và ít khai thác thì hầu như ổn định. Kết quả ước tính cho thấy tại một số khu vực, tốc độ sụt lún đạt 2-3 cm/năm, tập trung ở các vùng có cường độ khai thác lớn. Ngược lại, những nơi mực nước chỉ giảm nhẹ ($\sim 0,05$ - $0,1$ m/năm) thì mức lún đo được rất thấp (< 1 cm/năm). Để định lượng mối quan hệ, chúng tôi so sánh tốc độ sụt lún trung bình (từ InSAR) với tốc độ hạ thấp mực nước ngầm tại các khu vực tương ứng. Kết quả Hình 4 minh họa tương quan giữa quy mô khai thác và tốc độ hạ thấp mực nước ngầm: Những vùng có tổng lưu lượng khai thác lớn (20-25 nghìn m³/ngày) thường ghi nhận mực nước giảm nhanh, khoảng 0,3-0,4 m/năm; trong khi những nơi khai thác ít (< 5 nghìn m³/ngày) có

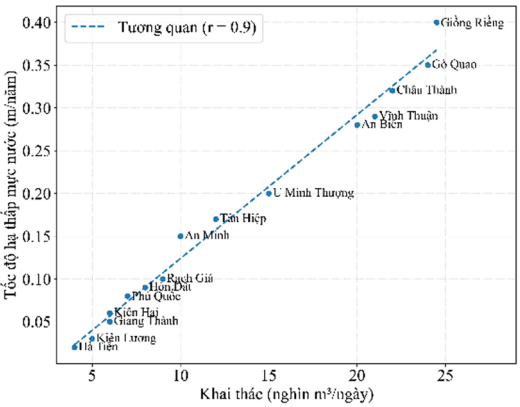
mực nước giảm không đáng kể ($\sim 0,1$ m/năm hoặc thấp hơn). Hệ số tương quan Pearson giữa hai biến số này vào khoảng 0,9, cho thấy mối quan hệ gần như tuyến tính.

Tương tự, Hình 5 cho thấy mối tương quan mật thiết giữa tốc độ hạ thấp mực nước ngầm và tốc độ sụt lún bề mặt đất. Tại các nơi mực nước giảm nhanh (ví dụ $\sim 0,3$ - $0,4$ m/năm), InSAR đo được tốc độ lún tới 2-3 cm/năm. Ngược lại, những nơi mực nước chỉ giảm nhẹ ($\sim 0,05$ - $0,1$ m/năm) thì đất lún rất chậm (< 1 cm/năm). Hệ số Pearson giữa hai đại lượng này cũng xấp xỉ 0,9, củng cố nhận định rằng sụt lún đất ở Kiên Giang chủ yếu bắt nguồn từ việc khai thác nước ngầm quá mức trên nền địa chất mềm yếu. Kết quả này tương đồng với cơ chế đã quan sát tại nhiều đồng bằng khác trên thế giới [1], [2]. Tất nhiên, cần lưu ý rằng các yếu tố khác như tải trọng công trình, nén lún tự nhiên của đất trẻ, hạn hán kéo dài,... cũng có thể ảnh hưởng đến tốc độ lún cục bộ [6]. Tổng hợp các bằng chứng định lượng nêu trên (Hình 4-Hình 5; $r \approx 0,9$) cho thấy suy giảm áp lực nước lỗ rỗng do bơm hút

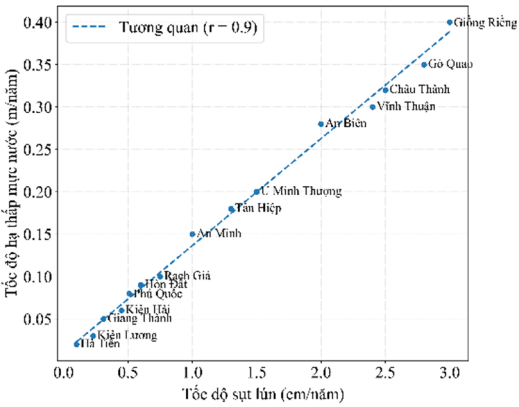
trên nền địa chất mềm yếu là cơ chế chi phối sụt lún tại khu vực nghiên cứu; nhận định này nhất quán với các nghiên cứu trước đây về vai trò trội của địa chất và áp lực nước lỗ rỗng so với yếu tố khí hậu [4], [5], [11], [12].

Như vậy, có thể khẳng định một cách định lượng rằng những vùng bơm hút nước ngầm quy mô lớn trên nền đất yếu ở Kiên Giang đều đang lún nhanh hơn hẳn so với các vùng khác. Tiêu biểu là vùng U Minh Thượng - nơi khai thác

nhieu và đất yếu, đã xảy ra sự cố sụt lún nghiêm trọng vào năm 2024 như đề cập ở trên; ngược lại, các vùng ven biển Tây Bắc như Hà Tiên, Kiên Lương khai thác ít và nằm trên nền địa chất cứng hơn nên mức lún quan sát được không đáng kể. Kết quả nghiên cứu là minh chứng cụ thể cho mối quan hệ nhân quả giữa khai thác nước ngầm và sụt lún địa chất tại Kiên Giang, cũng là hồi chuông cảnh báo cho công tác quản lý tài nguyên nước và phát triển bền vững ở địa phương.



Hình 4. Tương quan giữa cường độ khai thác nước ngầm và tốc độ hạ thấp mực nước



Hình 5. Tương quan giữa tốc độ hạ thấp mực nước ngầm và tốc độ sụt lún bề mặt đất (theo dữ liệu InSAR) tại Kiên Giang

5. Kết luận

Tình trạng sụt lún đất đang diễn ra tại Kiên Giang là lời cảnh báo về tác động của hoạt động khai thác nước ngầm thiếu kiểm soát trên nền địa chất yếu của khu vực. Phân tích dữ liệu cho thấy hầu hết trong tổng số ~93.000 giếng khoan trên địa bàn tập trung vào các tầng chứa nước Pleistocene, với tổng lưu lượng khai thác khoảng 197.000 m³/ngày. Hệ quả là mực nước ngầm trong các tầng này đã và đang tụt giảm mạnh (~0,1-0,4 m/năm ở những nơi khai thác nhiều), vượt quá khả năng phục hồi tự nhiên của tầng chứa. Việc giảm áp lực nước lỗ rỗng kéo dài dẫn tới cố kết đất và sụt lún bề mặt với tốc độ lên tới vài cm/năm tại một số khu vực trũng thấp, gây hư hại công trình và đe dọa các vùng dân cư. Mối tương quan mật thiết giữa phân bố khai thác, mức hạ thấp mực nước và mức độ sụt lún đã được khẳng định: Vùng nào bơm hút càng nhiều thì mực nước tụt càng sâu và đất lún càng nhanh.

Bên cạnh tác động trực tiếp của bơm hút, các yếu tố dân sinh (gia tăng dân số, vùng lúa trọng điểm, mô hình tôm - lúa) làm tăng nhu cầu nước; ở những nơi thiếu nguồn nước mặt mùa khô, phần thiếu hụt thường được bù bằng nước ngầm, dẫn tới mực nước tụt nhanh và lún mạnh hơn. Quan sát không gian cho thấy các vùng Giồng Riềng, Gò Quao, Châu Thành, Vĩnh Thuận, An Biên vừa có lưu lượng khai thác lớn vừa có mức hạ thấp mực nước và tốc độ lún cao hơn các nơi khác. Nói cách khác, sụt lún đất ở Kiên Giang chủ yếu bắt nguồn từ nguyên nhân nhân sinh - cụ thể là khai thác nước ngầm quá mức trên nền đất yếu.

Để giảm thiểu rủi ro sụt lún trong tương lai, Kiên Giang cần khẩn trương thực hiện các giải pháp quản lý nước ngầm bền vững. Trước mắt, cần kiểm soát chặt chẽ quy mô khai thác nước dưới đất, đặc biệt tại các khu vực đã có biểu hiện lún; lập quy hoạch và phân vùng cấm hoặc hạn chế khai thác ở những nơi nguy cơ cao. Song song, cần phát triển các nguồn nước

thay thế (như thu trữ nước mưa, sử dụng nước mặt) nhằm giảm phụ thuộc nước ngầm, nhất là vào mùa khô. Công tác quan trắc cần được tăng cường: Xây dựng mạng lưới giám sát lún hiện đại (kết hợp quan trắc InSAR và GPS) đồng thời mở rộng hệ thống giếng quan trắc mực nước ngầm, ưu tiên các vùng trọng điểm. Những thông tin này sẽ giúp cảnh báo sớm và phục vụ hoạch định chính sách sử dụng đất, quy hoạch hạ tầng phù hợp với nguy cơ sụt lún. Cuối cùng, cần lồng ghép vấn đề sụt lún đất của

khu vực vào các quy hoạch phát triển đô thị và giao thông của tỉnh (ví dụ cập nhật tiêu chuẩn thiết kế nền móng công trình theo mức lún dự báo từng vùng), đồng thời gắn với chương trình thích ứng biến đổi khí hậu tại địa phương. Trải nghiệm của khu vực Kiên Giang cũng là bài học chung cho các vùng khác thuộc các tỉnh ĐBSCL đang chịu sức ép khai thác nước ngầm - cần hành động kịp thời để tránh kịch bản “đất lún, nước dâng” đe dọa an sinh và phát triển bền vững trong vùng.

Đóng góp của từng tác giả trong bài báo: Xây dựng ý tưởng: Nguyễn Thái Sơn, Vũ Thị Hoài Thu, Triệu Ánh Ngọc, Nguyễn Hữu Huệ; Xử lý số liệu: Nguyễn Thái Sơn, Vũ Thị Hoài Thu.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ đã hỗ trợ kinh phí cho đề tài (mã số ĐTĐL.CN-62.23 và ĐTĐL.CN-54.22) để điều tra, thu thập số liệu và thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của mình, chưa từng công bố trước đó, không sao chép, đạo văn; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Phien-wej, N. et al. (2006), "Land subsidence in Bangkok, Thailand", *Engineering Geology*, 82(4), 187-201. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.10.004>
2. Abidin, H. Z. et al. (2011), "Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development", *Natural Hazards*, 59(3), 1753-1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>
3. Wu, J., Q. Z., & Jiang, W. (2010), "Shanghai's groundwater management and land subsidence control", *Engineering Geology*, 111(1-4), 93-100.
4. Erban, L. E. et al. (2014), "Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam", *Environmental Research Letters*, 9(8), 084010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/084010>
5. Minderhoud, P. S. J., et al. (2017), "Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong Delta, Vietnam", *Environmental Research Letters*, 12(6), 064006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7146>
6. Nguyen, V. L., and Woodroffe, C. D. (2016), "Assessing coastal vulnerability: Sea-level rise and subsidence in the Mekong Delta (Vietnam)", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 183, 258-271.
7. Ngọc, T. A. (2017), "Assessing the effects of upstream dam developments on sediment distribution in the Lower Mekong Delta, Vietnam", *Journal of Water Resource and Protection*, 9(7), 822-840. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2017.97055>
8. Hong Ngan and Chi Cong (2024), "Vietnam's Kien Giang declares state of emergency over drought-induced land subsidence", Tuổi Trẻ Online, Truy cập: Apr. 11, 2024. Available: <https://news.tuoiitre.vn/vietnams-kien-giang-declares-state-of-emergency-over-drought-induced-land-subsidence-10379290.htm>, (in Vietnamese).
9. Sở Tài nguyên và Môi trường Tỉnh Kiên Giang (2011), *Báo cáo điều tra, quy hoạch tài nguyên nước dưới đất tỉnh Kiên Giang*.
10. Ngọc, T. A. et al. (2024), "Characteristics of seawater intrusion in Soc Trang province, Vietnam", *Journal of Hydrometeorology*, 3(18), 1-11. [https://doi.org/10.36335/vnjhm.2024\(18\).1-11](https://doi.org/10.36335/vnjhm.2024(18).1-11)
11. Le Duy, N., et al. (2021), "Groundwater dynamics in the Vietnamese Mekong Delta: Trends, memory effects, and response times", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 33, 100746. <https://doi.org/10.1016/j.hydroreg.2021.100746>

12. Son, N. T. et al. (2025), "Groundwater overexploitation and land subsidence risk in Kien Giang Province, Vietnam", In *Proceedings of the Fourth International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture (ICSCEA 2025)* (p. 50).

RELATIONSHIP BETWEEN GROUNDWATER EXTRACTION INTENSITY AND LAND SUBSIDENCE IN KIEN GIANG AREA: QUANTITATIVE EVIDENCE FROM MONITORING DATA

Nguyen Thai Son⁽¹⁾, Vu Thi Hoai Thu⁽²⁾, Trieu Anh Ngoc⁽³⁾, Nguyen Huu Hue⁽³⁾

⁽¹⁾Department of Agriculture and Environment, An Giang Province

⁽²⁾University of Transport Ho Chi Minh City

⁽³⁾Thuyloi University

Received: 19/8/2025; Accepted: 08/9/2025

Abstract: Kien Giang area (now is a part of An Giang province) in Vietnam's Mekong Delta is facing increasing risks of land subsidence caused by excessive groundwater extraction. This study analyzes the status of groundwater exploitation from Holocene and Pleistocene aquifers, distribution of extraction wells, and groundwater level trends over 20 years (2000-2020). The results show approximately 93,000 extraction wells across the province, predominantly in the Pleistocene aquifers, with total extraction currently around 197,000 m³/day-several times greater than in the early 2000s. Continuous groundwater pumping has significantly lowered groundwater levels (0.1-0.4 m/year in heavily exploited areas), causing decreased pore-water pressure and land compaction. Analysis of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) satellite imagery reveals subsidence rates up to several centimeters per year in regions with intensive groundwater extraction. Maps clearly illustrate the spatial correlation between the distribution of extraction wells, magnitude of groundwater level decline, and areas experiencing land subsidence. Quantitative correlation analyses confirm strong relationships between extraction intensity and groundwater level declines (Pearson's correlation ~0.9), as well as between groundwater level declines and land subsidence rates. These findings underscore the urgent need for sustainable groundwater management-including extraction controls, development of alternative water sources, and enhanced subsidence monitoring-to mitigate environmental risks and ensure sustainable development for Kien Giang area and the broader Mekong Delta region.

Keywords: Land subsidence, groundwater extraction, groundwater level decline, Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR).