

QUẢN LÝ NƯỚC DƯỚI ĐẤT TẠI CÁC ĐỚI VEN BIỂN



Bản quyền thuộc © BGR 2018, tất cả các quyền được bảo hộ. Không yêu cầu sự cho phép đối với các sao chép với mục đích phi thương mại nếu được sử dụng đúng mục đích. Gợi ý trích dẫn từ cuốn cẩm nang này là: Post, V.E.A., M. Eichholz, R. Brentfuhrer (2018): Groundwater management in coastal zones. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover, Germany, 107 pp.

Được xuất bản bởi:

Viện Khoa học Địa chất và Tài nguyên liên bang Đức (BGR) đại diện cho và được tài trợ bởi Bộ Hợp tác và Phát triển kinh tế Liên bang Đức (BMZ).

Ý tưởng ban đầu: Ramon Brentfuhrer, Vanessa Vaessen,

Các tác giả: Vincent Post, Michael Eichholz, Ramon Brentfuhrer

Bố cục và minh họa: ff.mediengestaltung GmbH, Ulysses Erhardt

Bản đồ: Michael Eichholz, BGR (xem phần tài liệu tham khảo để biết các nguồn dữ liệu không gian)

Từ chối trách nhiệm

Các quan điểm được thể hiện trong ấn bản này là quan điểm của cá nhân các tác giả và không nhất thiết phản ánh quan điểm của Viện Khoa học Địa chất và Tài nguyên liên bang Đức (BGR) hoặc Bộ hợp tác và Phát triển kinh tế Liên bang Đức (BMZ). Các bản đồ địa lý trong ấn bản này chỉ phục vụ mục đích cung cấp thông tin và không phải là sự công nhận về biên giới hoặc các vùng lãnh thổ quốc tế.

Được in tại Đức.

ISBN 978-3-9814108-2-2

www.bgr.de

Bản quyền hình ảnh

Bìa: Alice Nerr (fotolia)

Trang 12: Tăng trưởng dân số: rcfotostock, Nông nghiệp: Dave Willman

Du lịch: Unclesam, Đo lường: rupbilder (all fotolia), IWMI (Quan trắc)

Trang 15: Bờ biển Sri Lanka: Dudarev Mikhail/fotolia

Trang 85: Kadmy (fotolia)



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Lời cảm ơn

Cuốn cẩm nang này được Bộ Hợp tác và Phát triển kinh tế Liên bang Đức (BMZ) và Viện Khoa học Địa chất và Tài nguyên Liên bang Đức (BGR) tài trợ. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự đóng góp của Vanessa Vaessen, người đã thúc đẩy dự án và cảm ơn Maike Groeschke và Henrik Schreiber về sự phản hồi quý báu về các chương và các nghiên cứu điển hình cụ thể. Cuối cùng, chúng tôi xin cảm ơn Neno Kukuric thuộc Trung tâm Đánh giá Tài nguyên nước dưới đất Quốc tế (IGRAC) vì đã chia sẻ bộ dữ liệu độ mặn toàn cầu được dùng để đưa ra các bản đồ trong phần Bản đồ 1.1.

Các từ viết tắt

ASR	Lưu trữ và Phục hồi Tầng chứa nước
BGR	Viện Khoa học Địa chất và Tài nguyên Liên bang Đức
BMZ	Bộ Hợp tác và Phát triển kinh tế Liên bang Đức
CNY	Đồng Nhân dân tệ Trung Quốc
EC	Độ dẫn điện
FAO	Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hiệp Quốc
GWP	Hợp Tác Nước Toàn Cầu
IGES	Viện Chiến lược môi trường Toàn cầu, Nhật Bản
IGRAC	Trung tâm Đánh giá Tài nguyên Nước dưới đất Quốc tế
IPCC	Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu
IWRM	Quản lý tổng hợp tài nguyên nước
OECD	Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế
TDS	Tổng chất rắn hòa tan
WFD	Chỉ thị về Khung về nước (Châu Âu)
WHO	Tổ chức Y tế thế giới
WRD	Khu vực Bổ sung nước (California, Hoa Kỳ)

Mục lục

Lời cảm ơn	4
Các từ viết tắt	5
Danh sách các hình	8
Danh sách các bảng	10
Danh sách các bản đồ	11
Nước dưới đất ven biển - các thách thức và giải pháp	12
Lời mở đầu	15
1. Giới thiệu	17
1.1 Giới thiệu cảm nang	18
1.2 Động thái của đới ven biển	18
1.3 Quan điểm toàn cầu về các nguy cơ tác động đến nước dưới đất ven biển	22
2. Động thái nước mặn và nước nhạt tại các đới ven biển	23
2.1 Độ mặn	24
2.2 Tương tác giữa nước nhạt với nước mặn trong các tầng chứa nước ven biển	26
2.3 Xâm nhập mặn của nước biển	30
2.4 Các tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng	32
2.5 Các tác động của thiên tai đến các tầng chứa nước ven biển	34
2.6 Sụt lún đất	37
3. Các thách thức trong quản lý nước tại các đới ven biển	39
3.1 Sự tăng trưởng dân số nhanh (Dar es Salaam, Tanzania)	40
3.2 Mở rộng nông nghiệp tưới tiêu (Lưu vực Souss-Massa, Ma Rốc)	42
3.3 Sử dụng nước dưới đất không kiểm soát và các lỗ hổng kiến thức (Châu thổ sông Nile, Ai Cập)	44
3.4 Nước dưới đất tại một điểm nóng du lịch (Malloca, Tây Ban Nha)	47
3.5 Tác động của khai thác cát (Lưu vực sông Nilwala, Sri Lanka)	49

4.	Quản trị và quản lý nước dưới đất bền vững tại các đới ven biển	51
4.1	Vấn đề nước dưới đất và quản trị nước dưới đất	52
4.2	Các vấn đề trong quản trị nước dưới đất vùng ven biển	54
4.3	Hiểu về các tác nhân trong quản trị nước dưới đất ven biển	56
4.4	Hướng tới một hệ thống quản trị phát triển nước dưới đất ven biển bền vững	58
4.5	Giám sát các tầng chứa nước ven biển - nền tảng của quản lý và quản trị	62
4.5.1	Độ mặn	63
4.5.2	Giếng quan trắc “lý tưởng”	64
4.5.3	Hóa học nước	65
5.	Các chiến lược và giải pháp	67
5.1	Phương pháp khai thác nước dưới đất tối ưu	68
	Trường hợp 1: Các giếng bơm thay thế (South Downs, Anh)	69
	Trường hợp 2: Quản lý nước đối với một hệ thống địa chất thủy văn (Nam Tarawa, Kiribati)	72
5.2	Phương pháp quản lý nhu cầu	74
	Trường hợp 3: Nhu cầu nước dưới đất được quản lý (Thiên Tân, Trung Quốc)	75
5.3	Phương pháp bổ cập tầng chứa nước tăng cường	78
	Trường hợp 4: Thu gom nước mưa trên mái nhà cho giếng đào (Kerala, Ấn Độ)	79
	Trường hợp 5: Quản lý thấu kính nước nhạt tiên tiến	82
5.4	Phương pháp kỹ thuật dưới mặt đất	85
	Trường hợp 6: Giếng bơm và các tường chắn thủy lực (Los Angeles, California)	86
	Trường hợp 7: Tường chắn ngăn mặn (Sơn Đông, Trung Quốc)	89
6.	Nhận xét kết luận	91
	Tài liệu tham khảo	94
	Tài liệu tham khảo dữ liệu không gian	106

Danh sách các hình

1. Giới thiệu

Hình 1.1	Sự phát triển dân số tại các đới ven biển có địa hình thấp	19
Hình 1.2	Các yếu tố ảnh hưởng đến các tầng chứa nước ven biển và các tác động của chúng	20

2. Động thái nước mặn và nước nhạt tại các đới ven biển

Hình 2.1	Sự phân chia của nước trong tự nhiên thành các cấp độ mặn nhạt khác nhau	25
Hình 2.2	Sơ đồ một tầng chứa nước ven biển được lý tưởng hóa với một nêm là nước biển xâm nhập	27
Hình 2.3	Tương tác giữa nước nhạt và nước mặn trong một đới ven biển	28
Hình 2.4	Sự xâm mặn trong một tầng chứa nước ven biển do tác động của khai thác	30
Hình 2.5	Nguy cơ xâm nhập mặn đối với các vị trí giếng khác nhau	31
Hình 2.6	Tác động của mực nước biển dâng đối với một tầng chứa nước ven biển lý tưởng	32
Hình 2.7	Đồ họa được lý tưởng hóa để mô tả ngập lụt trong nước biển do sóng thần gây ra	34
Hình 2.8	Điện trở suất của nước dưới đất tầng nông tại phía Bắc Banda Aceh	35
Hình 2.9	Các phần mặt cắt thể hiện hàm lượng clorua sau khi một rãnh cồn cát rộng 100m bị ngập trong nước biển tại đảo Baltrum của Đức trong trận lụt năm 1962	36
Hình 2.10	Các hiệu ứng tổng hợp của nước biển dâng và sụt lún đất	37
Hình 2.11	Nước biển dâng tuyệt đối và sụt lún đất trung bình tại một số thành phố ven biển	38

3. Các thách thức trong quản lý tài nguyên nước tại các đới ven biển

Hình 3.1	Lưu lượng khai thác theo thời gian tại Châu thổ sông Nile	45
Hình 3.2	Mặt cắt ĐCTV theo hướng Bắc Nam của Châu thổ sông Nile theo Farid 1985	46
Hình 3.3	Mô hình khái niệm ĐCTV của Châu thổ sông Nile theo Kooi và Groen (2003)	46
Hình 3.4	Khai thác cát ước tính tại Sri Lanka tính bằng triệu mét khối	50

4. Quản trị và quản lý nước dưới đất vững bền tại các đới ven biển

Hình 4.1	Quy trình khép kín trong quản lý thích ứng	60
Hình 4.2	Mặt cắt dưới dạng giản đồ của một tầng chứa nước ven biển với ba thiết kế giếng quan trắc khác nhau	64
Hình 4.3	Biểu đồ thể hiện sự thay đổi hàm lượng clorua và tỉ lệ Na/Cl của một giếng bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn tại California (Hoa Kỳ)	66

5. Các chiến lược và giải pháp

Hình 5.1	Sơ đồ minh họa nguyên lý các giếng khai thác xen kẽ để ngăn chặn xâm nhập mặn của nước biển	70
Hình 5.2	Mô phỏng các lựa chọn quản lý nước khác nhau	74
Hình 5.3	Tổng sản phẩm quốc nội vùng (RGDP) và sử dụng nước dưới đất (IGES 2007)	77
Hình 5.4	Thu gom và lọc nước trên mái nhà và đưa vào các giếng đào	80
Hình 5.5	Thấu kính nước nhạt nhân tạo trong nước ngầm mặn sử dụng nước nhạt có sẵn trong mùa đông để bổ cập và khai thác để tưới tiêu trong mùa hè	83
Hình 5.6	Hệ thống thấm lọc trên đỉnh lạch	84
Hình 5.7	Sự xâm nhập từ nước biển và các giếng chắn	88
Hình 5.8	Mặt cắt của một đập ngầm	90

6. Nhận xét kết luận

Hình 6.1	Tổng quan về sự phát triển các lựa chọn cấp nước ven biển	93
----------	---	----

Danh sách các bảng

3. Các cách thức trong quản lý tài nguyên nước tại các đới ven biển

Bảng 3.1	Sự phát triển về số lượng các giếng khai thác tại châu thổ sông Nile từ năm 1952 đến năm 2016	44
----------	---	----

4. Quản trị và quản lý nước dưới đất bền vững tại các đới ven biển

Bảng 4.1	Tóm tắt các vấn đề về quản trị phát hiện được tại 3 vùng thảo luận trong chương này	54
Bảng 4.2	Ví dụ về các nhóm đối tượng có liên quan đến nước dưới đất ven biển	57

5. Các chiến lược và giải pháp

Bảng 5.1	Bảng thuế tài nguyên nước tại Thiên Tân	76
Bảng 5.2	Các số liệu chính được lựa chọn cho các dự án tường chắn ngăn xâm nhập của nước biển ở Los Angeles	87

Danh sách bản đồ

1. Giới thiệu

Bản đồ 1.1	Bản đồ khu vực Đông Nam Á, Địa Trung Hải và một phần của Châu Mỹ cho thấy trường hợp nước lợ hoặc nước dưới đất mặn tại các tầng chứa nước ven biển, các trung tâm đô thị và các vùng nông nghiệp với hệ thống tưới tiêu chuyên sâu sử dụng nước dưới đất	21
------------	---	----

3. Các thách thức trong quản lý tài nguyên nước tại các đới ven biển

Bản đồ 3.1	Bản đồ vị trí Dar es Salaam, Tanzania	40
Bản đồ 3.2	Bản đồ vị trí Souss-Massa, Morocco và độ mặn (TDS) của nước tại tầng chứa nước nông	42
Bản đồ 3.3	Bản đồ vị trí Châu thổ sông Nile, Ai Cập	44
Bản đồ 3.4	Bản đồ vị trí Mallorca và hiện trạng nước dưới đất báo cáo theo Chỉ thị khung về nước Châu Âu	47
Bản đồ 3.5	Bản đồ vị trí Matara, Sri Lanka	49

5. Các chiến lược và giải pháp

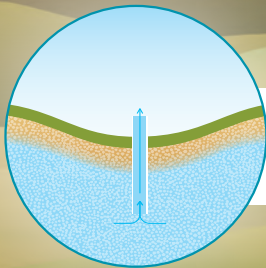
Bản đồ 5.1	Bản đồ vị trí South Downs, Anh, cho thấy điều kiện địa chất cơ bản và các lỗ khoan cung cấp nước công cộng	69
Bản đồ 5.2	Bản đồ vị trí South Tarawa, Kiribati	72
Bản đồ 5.3	Bản đồ vị trí Thiên Tân, Trung Quốc	75
Bản đồ 5.4	Bản đồ vị trí Kerala, Ấn Độ	79
Bản đồ 5.5	Bản đồ vị trí Zeeland, Hà Lan	82
Bản đồ 5.6	Bản đồ vị trí Los Angeles, California và vị trí các tường chắn thủy lực	86
Bản đồ 5.7	Bản đồ vị trí tỉnh Sơn Đông, Trung Quốc và vị trí các đập nước ngầm	89

NƯỚC DƯỚI ĐẤT VÙNG VEN BIỂN

Các thách thức



Nông nghiệp
42



Sụt lún nền đất
37



Tăng trưởng dân số
40

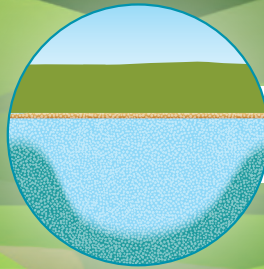


Du lịch
47

Các giải pháp



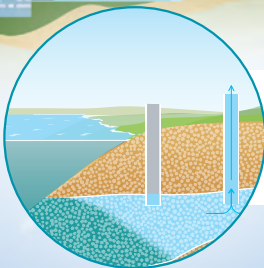
Đo lường
📖 64



Bổ cập tăng cường
📖 78



Quan trắc
📖 64



Khai thác
tối ưu
📖 68



Lời mở đầu

Phần lớn dân số nhân loại sống tại các khu vực ven biển, tập trung tại các trung tâm đô thị lớn. Dân số và kinh tế tăng trưởng liên tục như hiện nay khiến cho nhu cầu về tài nguyên nước vốn đã căng thẳng càng trở lên căng thẳng hơn và đặt các tầng chứa nước ven biển trước các nguy cơ bị xâm nhập mặn. Khai thác nước dưới đất mạnh mẽ đã gây ra hiện tượng nhiễm mặn nước dưới đất tại các khu vực ven biển trên toàn thế giới. Mực nước biển dâng cao cùng với tác động của các đợt sóng lớn do biến đổi khí hậu và vấn đề sụt lún nền đất đang có xu hướng làm vấn đề trở nên trầm trọng hơn trong các thập kỷ tới.

Trong bối cảnh nhu cầu ngày càng gia tăng trong khi nguồn tài nguyên ngày càng suy giảm, việc sử dụng nước hiệu quả và đa dạng hóa nguồn cấp là các giải pháp chính để đảm bảo nguồn cung nước an toàn. Nước dưới đất đóng vai trò sống còn trong vấn đề này. Mặc dù vậy, số lượng nước dưới đất hiện có và tốc độ tái tạo của chúng giữa các khu vực lại rất khác nhau. Do đó, việc quản lý tài nguyên nước bền vững chỉ có thể thực hiện được khi có được sự hiểu biết đầy đủ về hệ thống nước dưới đất, điều này có thể đạt được thông qua một mạng lưới quan trắc được thiết kế tốt. Dữ liệu là tiền đề đầu tiên phục vụ quản lý nhưng kiểm soát tốt lại là một tiền đề khác không kém phần quan trọng. Nếu không có sự hiểu biết rõ ràng về vai trò của nước dưới đất trong phát triển kinh tế của một khu vực, sự phối hợp liên ngành và thực thi pháp lý thì không có chính sách quản lý nào có thể được thực hiện hiệu quả.

Cuốn cẩm nang này đưa ra một cái nhìn tổng thể về các rủi ro và nguy cơ đối với nước dưới đất vùng ven biển và thảo luận về các nguyên tắc quản lý và quản trị tốt nước dưới đất. Cẩm nang này cũng cung cấp các ví dụ về các chiến lược đã được kiểm chứng để bảo vệ tài nguyên nước nhạt ngầm thông qua quản lý khai thác, giảm bớt nhu cầu, tăng cường bổ cập nước nhạt và các biện pháp kỹ thuật để ngăn chặn xâm nhập mặn. Vì mỗi đới ven biển là sự kết nối độc đáo giữa các điều kiện ĐCTV và kinh tế xã hội riêng biệt nên sẽ cần những tập hợp các giải pháp khác nhau cho từng vùng. Tôi hy vọng cuốn cẩm nang này sẽ hỗ trợ và tạo cảm hứng trong việc xác định và triển khai các giải pháp tốt nhất cho khu vực duyên hải mà bạn đang làm việc.

Ralph Watzel



*GS. TS. Ralph Watzel
Viện trưởng
Viện Khoa học Địa chất
và Tài nguyên liên bang
Đức (BGR)*

Bờ biển của Sri Lanka

1. Giới thiệu

Các đới ven biển nằm ở vị trí giữa đất liền và biển và chịu ảnh hưởng từ cả hai quá trình biển và đất liền vốn rất động và thay đổi liên tục theo thời gian. Các khu vực tiêu biểu bao gồm châu thổ sông, các khu vực đầm lầy, bãi biển, cồn cát, đá ngầm, rừng đước và phá (Post và Lundin 1996). Các đới ven biển cung cấp nguồn tài nguyên thiên nhiên đa dạng như cá, đất nông nghiệp màu mỡ và các tuyến đường phục vụ mục đích thương mại. Vẻ đẹp thiên nhiên của các khu vực này cũng khiến chúng trở thành các điểm đến ưa thích của khách du lịch. Dân số ở các đới ven biển tiếp tục tăng cao và các hệ sinh thái tự nhiên đang chịu áp lực lớn hơn bao giờ hết.

1.1 Giới thiệu cảm nang

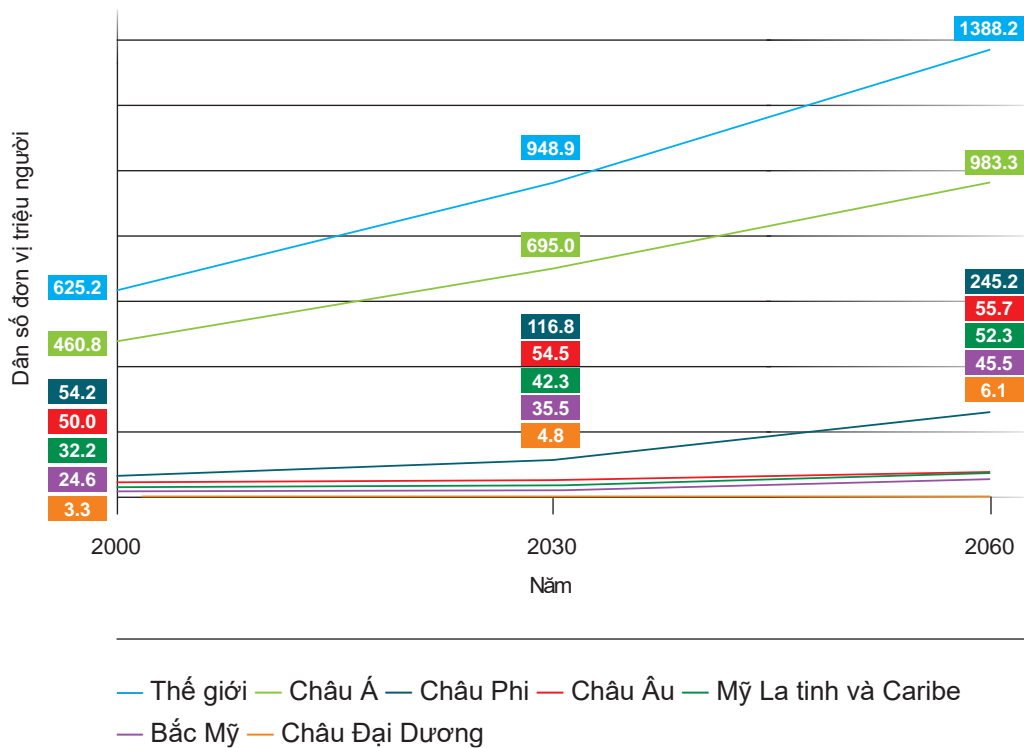
Quản lý tài nguyên nước dưới đất tại các khu vực ven biển là một nhiệm vụ khó khăn. Các quá trình thủy văn phức tạp cùng với việc thiếu dữ liệu quan trắc khiến chúng ta khó có thể hiểu biết đầy đủ và quản lý bền vững nguồn tài nguyên này. Nhưng ngay cả khi có sự hiểu biết đầy đủ về hệ thống nước dưới đất thì việc sử dụng bền vững nguồn nước nhạt cũng rất khó khăn.

Mục đích của cảm nang này là cung cấp thông tin cơ bản về các hệ thống nước dưới đất khu vực ven biển và công tác quản lý các hệ thống này. Điều này không có nghĩa rằng đây là một tham chiếu toàn diện. Thay vào đó, vì mỗi vùng là sự kết hợp riêng độc đáo giữa các điều kiện tự nhiên và điều kiện kinh tế xã hội nên tài liệu này chỉ đưa ra một số gợi ý giải pháp. Ngay sau chương giới thiệu này, chương 2 đưa ra những đánh giá chung về các quá trình thủy văn quan trọng nhất tại các đới ven biển. Chương 3 bao gồm một tập hợp các nghiên cứu điển hình về hiện tượng suy thoái tài nguyên nước dưới đất nhạt gây ra do các hoạt động của con người. Chương 4 bàn về thực tiễn quản lý và phác thảo về mô hình quản trị tốt. Chương 5 cung cấp ví dụ về các giải pháp cho vấn đề nhiễm mặn đã được chứng minh là thành công tại nhiều vùng địa lý khác nhau trên toàn thế giới. Cuối cùng, chương 6 tóm lược lại các phát hiện chính từ các chương trước.

1.2 Động thái của đới ven biển

Đới ven biển luôn hình thành nên các tâm điểm tập trung hoạt động định cư và kinh tế của con người. Trên toàn cầu có khoảng 37% dân số thế giới sống trong bán kính 100km dọc bờ biển với mật độ dân số luôn gấp đôi mức trung bình trên thế giới. Hai phần ba các thành phố trên thế giới nằm ở vị trí dọc các bờ biển. Dân số tại các đới ven biển trên toàn thế giới đã tăng với tốc độ đáng kinh ngạc (Hình 1.1), đặc biệt tại các trung tâm đô thị. Trung Quốc được coi là điểm nóng của sự phát triển này với dân số ước tính khoảng 200 triệu người cư trú tại các đới ven biển có địa hình thấp đến năm 2030. Ngoài ra, các khu vực ven biển của Ấn Độ, Băng-la-đét, Indonesia và Việt Nam cũng sẽ trải qua giai đoạn tăng trưởng dân số mạnh mẽ. Mặc dù Châu Phi có dân số thấp hơn so với Châu Á, châu lục này cũng đang trải qua giai đoạn có tốc độ tăng trưởng dân số được ước tính là cao nhất trên thế giới, đặc biệt tại các quốc gia Tây Phi như Nigeria, Benin, Bờ Biển Ngà và Senegal (Neumann et al. 2015).

Bên cạnh sự gia tăng dân số tại các khu vực ven biển, thay đổi lối sống (lượng nước sử dụng trên đầu người cao hơn), mở rộng hoạt động sản xuất nông nghiệp



Hình 1.1: Sự phát triển dân số tại các đới ven biển có địa hình thấp (<10m so với mực nước biển trung bình). Các giá trị ước tính áp dụng cho kịch bản tăng trưởng trung bình (theo Neumann và cộng sự 2015).

và phát triển kinh tế đang làm cho nhu cầu về nước tăng cao. Quá trình đô thị hóa là nguyên nhân làm cho nhu cầu tại các khu vực tăng cao. Một khía cạnh đặc biệt của các đới ven biển là tài nguyên nước nhạt đang có nguy cơ bị nhiễm mặn do nằm cận kề với biển. Lượng mưa và nước mặt hình thành nên các bộ phận dễ thấy của chu trình thủy văn, nhưng về mặt khối lượng thì tài nguyên nước nhạt lớn nhất lại được phát hiện ở dưới lòng đất trong các tầng chứa nước.

Có rất nhiều quá trình tác động đến các tầng chứa nước ven biển (Hình 1.2). Một số quá trình, chẳng hạn như biến đổi khí hậu hoặc sự nâng lên của kiến tạo chỉ có thể tạo ra một tác động đáng kể trong thời gian dài. Tuy nhiên, các sự kiện thảm khốc như sóng thần hoặc sóng lớn do bão có thể gây ra những hậu quả to lớn chỉ trong khoảng khắc. Các khu vực có địa hình thấp như các châu thổ sông hoặc các đảo san hô vòng thường có nguy cơ bị rủi ro cao, đặc biệt ở những nơi xảy ra hiện tượng sụt lún mặt đất (Mục 2.6). Tại các khu vực này, khả năng xảy ra các hiện tượng thời tiết cực đoan cao có thể dẫn đến nhiều đợt sóng biển lớn do bão và gây lũ lụt thường xuyên hơn trên bề mặt. Việc bảo vệ các nguồn cấp nước nhạt tại các khu vực ven biển do đó có sự liên hệ chặt chẽ với bảo vệ bờ biển cũng như việc sử dụng đất và quy hoạch đô thị. Xâm nhập mặn là sự thay thế nước nhạt tại một tầng chứa nước ven biển bằng nước mặn. Nguyên nhân của hiện tượng xâm mặn có thể là do tự nhiên, chẳng hạn như việc giảm lượng bổ cập hoặc việc mực nước

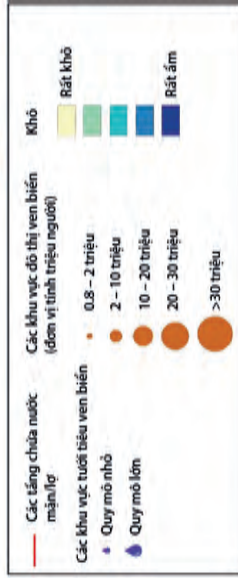
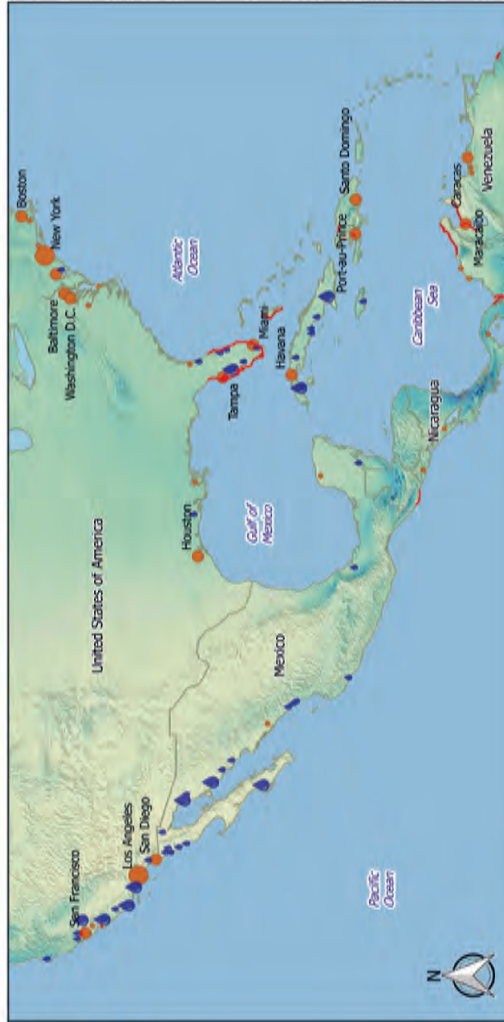
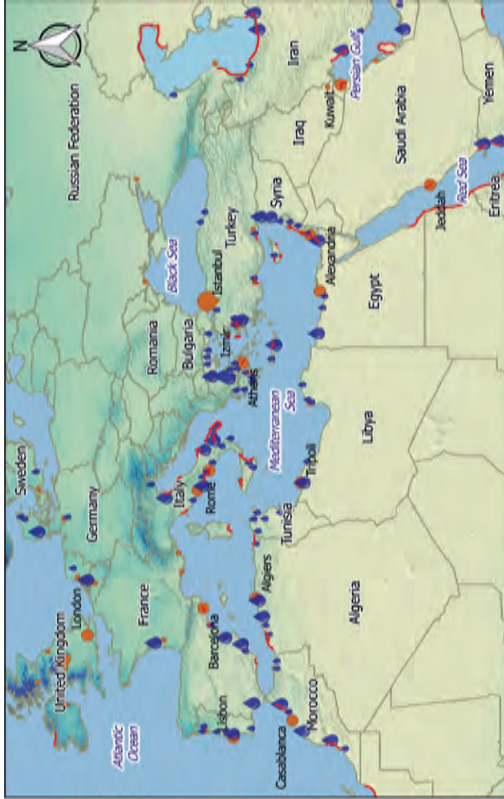
Hình 1.2: Các yếu tố ảnh hưởng đến các tầng chứa nước ven biển và các tác động của chúng (chỉnh sửa từ FAO 1997)



biển khu vực dâng cao, nhưng trong đa số các trường hợp việc khai thác quá mức tầng chứa nước là nguyên nhân chính. Cũng giống các quá trình tự nhiên khác, các tác nhân do con người gây ra hiện tượng xâm mặn xảy ra trên quy mô không gian và thời gian khác nhau (White và Kaplan 2016). Vì độ mặn của nước dưới đất cũng ảnh hưởng đến chất lượng của đất được tưới tiêu nên việc kiểm soát độ mặn có tầm quan trọng rất lớn trong nông nghiệp và an ninh lương thực của con người.

Quản lý nước ven biển là một quá trình có tính chuyên môn cao với mục đích chính là bảo vệ các giếng khai thác khỏi nhiễm mặn. Nó phải đảm bảo cân bằng giữa nhu cầu nước đang tăng cao với khả năng của tầng chứa nước cho chất lượng tốt, đồng thời đảm bảo được các chức năng khác của nước dưới đất không bị tổn hại, chẳng hạn chức năng của một nguồn nước đối với các hệ sinh thái. Khái niệm “vết kiệt nước dưới đất ven biển” đã được Michael và cộng sự (2017) đưa ra để mô tả áp lực gia tăng chưa từng thấy đối với tài nguyên nước nhạt trong các tầng chứa nước ven biển. Tính chất kết nối của các tầng chứa nước với các bộ phận khác của chu trình thủy văn do tác động của con người và tự nhiên cũng như nhiều mối đe dọa khác đòi hỏi cần có sự quản lý tổng hợp tài nguyên nước (IWRM, Cap-Net 2010), vì nước dưới đất không thể được quản lý tách biệt với các nguồn nước khác.

Bản đồ 1.1 (xem trang sau): Bản đồ khu vực Đông Nam Á, Địa Trung Hải và một phần của Châu Mỹ cho thấy trường hợp nước lợ hoặc nước dưới đất mặn tại các tầng chứa nước ven biển, các trung tâm đô thị và các vùng nông nghiệp với hệ thống tưới tiêu chuyên sâu sử dụng nước dưới đất. Các màu thể hiện các cấp độ khô cần.



Dữ liệu:
 Các khu vực tuổi thọ ven biển: Nguồn từ bộ dữ liệu từ Siebert và cộng sự 2013 (FAO – Đại học Bonn).
 Các cảng chứa nước mặn ven biển: IGBAC 2012
 Các khu vực độ thấp ven biển: Nordpil (ICC-0), dữ liệu dân số dựa vào bản báo cáo Triển vọng Đô thị hóa Thế giới của Liên Hiệp Quốc năm 2010, theo đó tất cả các trung tâm đô thị trên 0.8 triệu người cư trú trong vùng đệm 50km từ bờ biển được trích lục.
 Tình chất khô: Nước khô được thể hiện bằng chỉ số khô do New và cộng sự phát triển (2002; CRU CL 2.0 dataset)

GCS WGS 1994
 Bản đồ: M. Eichholz

1.3 Quan điểm toàn cầu về các nguy cơ tác động đến nước dưới đất ven biển

Đánh giá toàn cầu về sự suy thoái của nước dưới đất ven biển và xâm nhập mặn là một nỗ lực gặp rất nhiều khó khăn. Công việc này yêu cầu có sự quan trắc và phân tích chặt chẽ các tầng chứa nước ven biển. Tuy nhiên, phương pháp tiếp cận như vậy hiện còn thiếu ở nhiều đới ven biển trên thế giới. Để xác định các đới có nguy cơ cao do khai thác nước dưới đất quá mức và xâm nhập mặn, hai nguyên nhân tác động đến nhu cầu nước chính bao gồm: (a) mật độ dân số và đô thị hóa; (b) nền nông nghiệp quy mô lớn sử dụng nước dưới đất trong tưới tiêu. Một đánh giá toàn cầu về độ mặn của nước dưới đất đã được Trung tâm Đánh giá Tài nguyên Nước dưới đất Quốc tế (IGRAC) thực hiện năm 2009 (van Weert và cộng sự 2009; IGRAC 2012). Dựa vào dữ liệu nước dưới đất đã xuất bản, nghiên cứu này xác định 103 vùng nước dưới đất ven biển đã bị xâm nhập mặn.

Bản đồ 1.1 trong trang 21 kết hợp bộ dữ liệu IGRAC (2012) với bản đồ các khu vực sản xuất nông nghiệp chuyên sâu sử dụng nước dưới đất để tưới tiêu và các trung tâm đô thị tại các khu vực ven biển của ba vùng lớn. Tưới tiêu cường độ lớn sử dụng nước dưới đất có thể được phát hiện - như mong đợi - tại các vùng ven biển với các điều kiện khí hậu tương đối khô với mùa khô kéo dài và gần kề các thị trường nông sản lớn. Các ví dụ điển hình bao gồm các khu vực nông nghiệp dọc các bờ biển California, Pakistan, Ấn Độ, Bắc Trung Quốc, và dọc biển Địa Trung Hải.

Một số khu vực ven biển có khí hậu ẩm cũng có nước dưới đất mặn, chẳng hạn tại Đông Nam Á. Hiện tượng này không phải luôn liên quan đến xâm nhập mặn của nước biển mà có thể liên quan đến các quá trình lịch sử địa chất khi đường bờ biển có vị trí sâu hơn trong đất liền. Tương tự, độ mặn cao do xâm nhập của nước biển gây ra bởi cơn sóng thần năm 2004 có thể vẫn tồn tại dọc một số bờ biển của Ấn Độ Dương.

2. Động thái nước mặn và nước nhạt tại các đới ven biển

Một đặc điểm độc đáo trong thủy văn của các đới ven biển là nước ở các khu vực này có những đặc điểm rất khác biệt. Một mặt là nước biển, mặt khác là nước nhạt bắt nguồn từ các vùng sâu trong đất liền. Các tầng chứa nước ven biển không khác biệt nhiều với các tầng chứa nước trong đất liền về các đặc tính vật lý, nhưng đặc biệt ở chỗ nước nhạt và nước mặn pha trộn và tương tác lẫn nhau. Chương này đưa ra đánh giá sơ bộ về các khía cạnh thủy văn quan trọng nhất của các đới ven biển.

2.1 Độ mặn

Về mặt hóa học, sự khác biệt lớn giữa nước nhạt và nước mặn chính là độ mặn của chúng. Độ mặn được thể hiện qua tổng hàm lượng chất rắn hòa tan (TDS). Giới hạn trên của TDS đối với nước nhạt thường là 1.000 mg TDS/L (Hình 2.1). Các cấp độ mặn khác thường được phân biệt là lợ, mặn và nước có hàm lượng muối cao, trong đó nước có hàm lượng muối cao có hàm lượng TDS cao hơn hàm lượng TDS của nước đại dương. Nước đại dương trung bình có độ mặn 36.000 mg TDS/L nhưng thường biến động quanh giá trị này. Ví dụ, độ mặn của nước biển có thể thấp hơn đáng kể khi ở gần cửa sông lớn, hoặc cao hơn tại các vùng ẩm với lượng bốc hơi lớn.

Thành phần chính của TDS trong nước biển là ion clorua hòa tan. Không có giới hạn sức khỏe đối với clorua trong nước uống (WHO, 2003) nhưng clorua có thể được phát hiện bằng cách ném khi nồng độ lớn hơn 250 mg/L. Điều này có nghĩa là một hỗn hợp nước nhạt với chỉ 1% nước biển đã có thể không phù hợp để uống.

Độ mặn cao của nước biển có nghĩa là mật độ của nó cao hơn so với nước nhạt. Sự khác biệt khoảng 2,5% đối với nước đại dương. Trong khi sự khác biệt này có vẻ như rất nhỏ, nó là những gợi ý quan trọng của các quá trình vật lý để xác định dòng chảy của nước biển vào trong các tầng chứa nước nhạt. Mật độ nước biển khác nhau đáng kể giữa các vị trí, thấp nhất ở các biển nội địa với dòng nước nhạt chảy vào, chẳng hạn như biển Baltic, và cao nhất ở nơi mà sự bốc hơi tạo nên quá trình mất nước chủ yếu, chẳng hạn như Biển Chết. Vì thế mật độ cần phải được xác định là một phần trong bất kỳ hoạt động điều tra tầng chứa nước ven biển nào.

Hình 2.1: Sự phân chia của nước trong tự nhiên thành các cấp độ có độ mặn nhạt khác nhau dựa vào hàm lượng tổng chất rắn hòa tan (TDS) tính bằng mg/L (Fetter 1994).



Nước nhạt 0 – 1.000

nước mưa, sông, hồ, nước dưới đất

Nước lợ 1.000 – 10.000

nước sông, hồ và nước dưới đất có sự bốc hơi hoặc hòa lẫn với nước biển

Nước mặn 10.000 – 36.000

nước sông, hồ và nước dưới đất có độ bốc hơi mạnh hoặc có cường độ hòa trộn mạnh với nước biển

Nước có hàm lượng muối cao 36.000 – 100.000

nước biển bốc hơi hoặc nước dưới đất trong khu vực xả nước tại các vùng khô

Nước muối > 100.000

nước biển hoặc nước dưới đất đã trải qua quá trình bốc hơi mạnh hoặc muối đã tan

2.2 Tương tác giữa nước nhạt với nước mặn trong các tầng chứa nước ven biển

Khả năng dẫn nước của một đơn vị địa chất được thể hiện thông qua độ dẫn thủy lực của chúng. Độ dẫn thủy lực càng cao thì càng dễ cho một đơn vị truyền nước. Các lớp dưới bề mặt được phân chia thành các đơn vị được gọi là địa tầng thủy văn dựa vào thông số này. Các lớp thấm tốt hơn hình thành nên các tầng chứa nước, các lớp thấm kém hơn tạo thành các lớp thấm nước yếu. Tầng chứa nước tốt được hình thành từ cát thô, đá vôi hoặc đá nứt nẻ, trong khi các lớp thấm nước yếu bao gồm các vật chất như sét, đá phiến sét hoặc đá bùn.

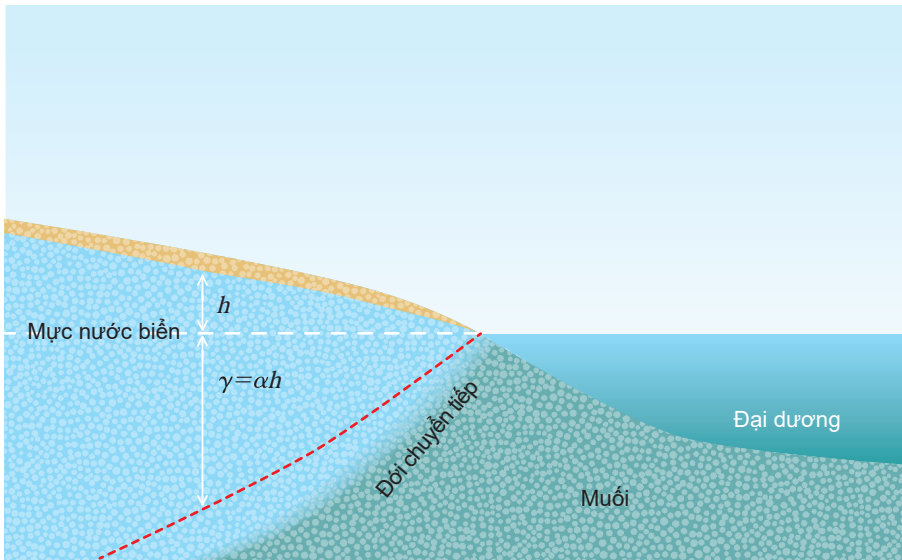
Khi nước dưới đất nhạt và nước biển gặp nhau trong một tầng chứa nước ven biển, chúng sẽ được phân tách bởi một đới chuyển tiếp (Hình 2.2). Trong đới này, độ mặn dao động trong mức của nước nhạt và nước mặn. Vị trí và chiều rộng của đới chuyển tiếp phụ thuộc vào các đặc điểm của hệ thống nước dưới đất. Khi một tầng chứa nước ven biển được kết nối về mặt thủy văn với biển thì nước biển xâm nhập sẽ hình thành một nêm thâm nhập vào tầng chứa nước trong đất liền. Hình thể này là kết quả của mật độ nước biển cao hơn so với nước nhạt: Một cột nước biển gây ra áp lực lớn hơn so với một cột nước nhạt có cùng chiều dài. Vì điều này, nước biển có thể tràn vào tầng chứa nước bên dưới bề mặt đất trong đất liền từ bờ biển.

Do đó, nước nhạt ngấm gần bờ biển hình thành nên một khối nước “nổi” phía trên nước mặn ngấm. Khi một hệ thống như vậy đạt trạng thái cân bằng (nghĩa là vị trí của nêm nước biển không thay đổi) ta có thể có được ước tính ban đầu về độ dày của thấu kính nước nhạt bằng công thức:

$$\gamma = \alpha h$$

trong đó γ là chiều sâu của đáy thấu kính dưới mực nước biển và h là cao độ của mặt nước dưới đất trên mực nước biển (Hình 2.2). Mối liên hệ này được biết đến như nguyên tắc Ghijben-Herzberg. Hệ số α thường trong khoảng 40, do có sự chênh lệch về mật độ giữa nước biển và nước nhạt tiêu chuẩn. Cần lưu ý rằng nếu nước biển có độ mặn khác với nước biển tiêu chuẩn thì phải sử dụng một hệ số khác. Như được minh họa trong Hình 2.2, vị trí thực tế của đới chuyển tiếp thường nằm hướng về biển so với vị trí của ranh giới ước tính bằng công thức Ghijben-Herzberg. Ngoài ra, các hệ số phức tạp như địa chất địa phương hoặc các quá trình của nước dưới đất cũng hạn chế rất nhiều đến

việc ứng dụng mối quan hệ này. Mặc dù vậy, nó có thể cung cấp một dấu hiệu hữu ích về chiều sâu của nêm nước biển.



Hình 2.2. Sơ đồ một tầng chứa nước ven biển được lý tưởng hóa với một nêm là nước biển xâm nhập. Các ký hiệu gần mũi tên trắng minh họa ý nghĩa của các ký hiệu trong công thức Ghyben-Herzberg. Lưu ý, cao độ của bề mặt nước dưới đất đã được phóng đại để dễ đọc hơn. Nguyên tắc Ghyben-Herzberg dựa trên giả thiết về một ranh giới rõ ràng giữa nước dưới đất nhạt và mặn, được thể hiện bằng đường đứt màu đỏ. Trên thực tế thì sự dịch chuyển sẽ nhanh hơn, và thường có vị trí hướng về biển nhiều hơn so với công thức Ghyben-Herzberg dự đoán, như được minh họa bằng các màu kín thể hiện nước dưới đất nhạt và mặn.

Khoảng cách mà nêm nước biển sẽ xâm nhập vào đất liền là một hàm số gồm nhiều hệ số:

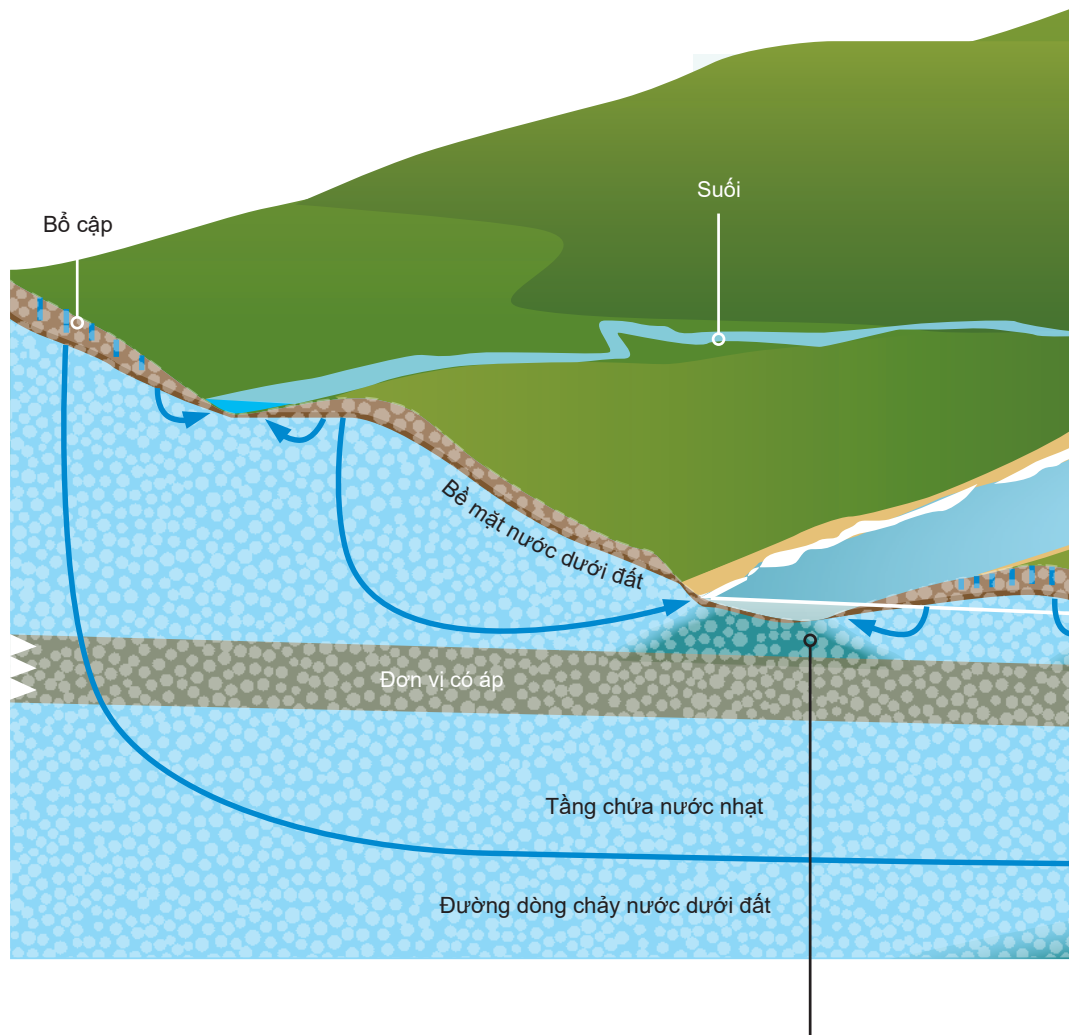
- Các quá trình bổ cập và khai thác dưới đất
- Các tính chất thủy lực và hình học của hệ thống tầng chứa nước
- Mức chênh lệch mật độ giữa nước biển và nước nhạt ngầm

Nói chung, tốc độ dòng chảy hướng biển của nước nhạt ngầm càng cao thì sự xâm nhập của nêm nước biển vào tầng chứa nước càng nhỏ. Tuy nhiên, với cùng tốc độ dòng chảy, hệ số thủy lực của tầng chứa nước cao hơn sẽ dẫn đến phạm vi của nêm nước biển trong đất liền tăng lên. Sự chênh lệch mật độ cao hơn sẽ có cùng một hiệu ứng.

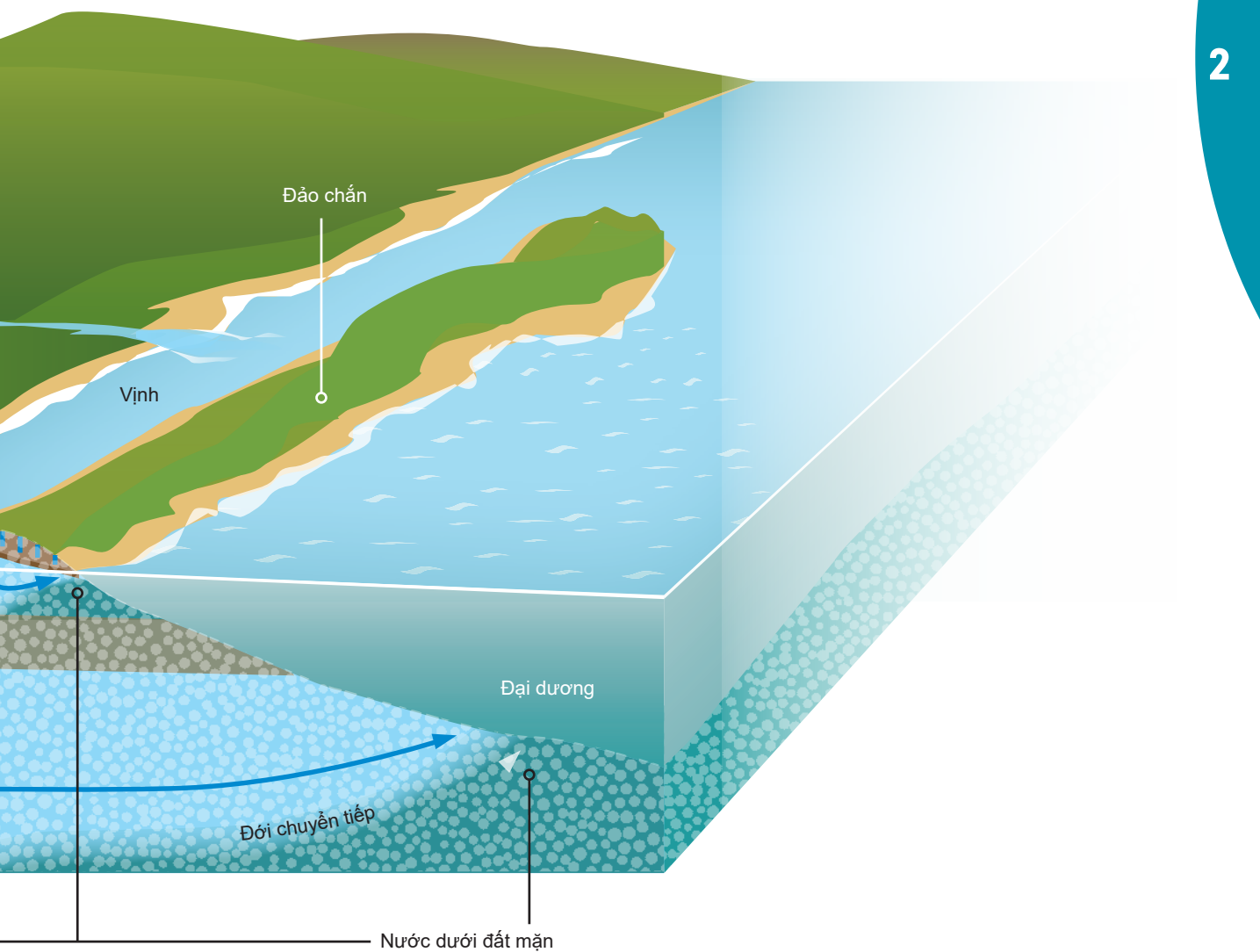
Dưới các điều kiện tự nhiên không có hoạt động khai thác, dòng chảy nước ngầm nhạt được định hướng ra phía biển (Hình 2.3). Nước chảy ra biển có thể diễn ra với hình thức dòng chảy ra cục bộ thông qua các nguồn lộ ngầm

dưới biển, hoặc dòng chảy ra khuếch tán. Trước khi chảy ra, nước nhạt hòa lẫn với nước biển trong tầng chứa nước, và do đó dòng chảy ra thường không phải là nước nhạt đơn thuần mà là nước lợ. Nước mặn trong nôm cũng chuyển động, mặc dù với tốc độ nhỏ hơn so với nước nhạt ngầm. Đới chuyển tiếp di chuyển và thay đổi hình dạng theo sự biến đổi lượng nước dưới đất bổ cập theo mùa và theo năm, sự lên xuống của thủy triều và các thay đổi của mực nước biển trong dài hạn.

Hình 2.3: Tương tác giữa nước nhạt và nước mặn trong một đới ven biển (đã được chỉnh sửa từ Barlow 2003). Nước nhạt ngầm xả vào các suối, lạch thủy triều, ao, vùng ngập mặn, vịnh và đại dương. Một thấu kính nước nhạt cục bộ đã hình thành bên dưới đảo chắn.



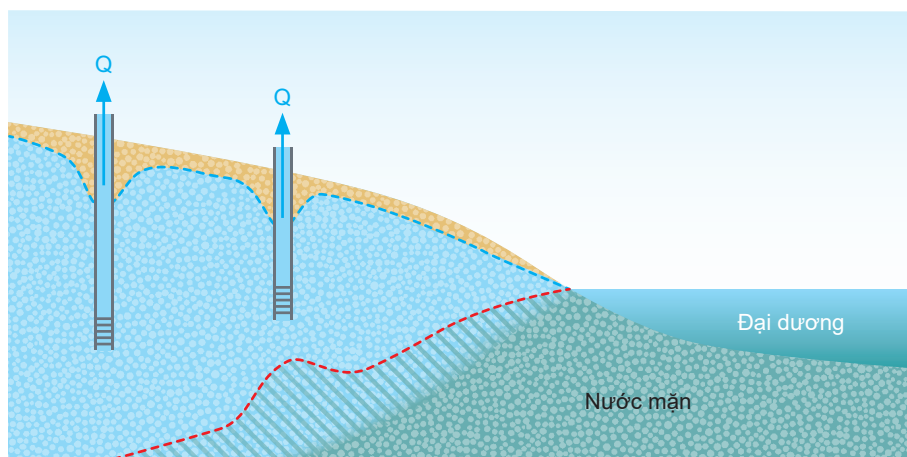
Hình dạng và hình học của các tầng chứa nước và các lớp thấm nước yếu kiểm soát hình thái xâm nhập mặn của nước biển. Trong một hệ thống tầng chứa nước nhiều lớp, có thể tồn tại nhiều đới chuyển tiếp khác nhau (Hình 2.3). Khi một lớp thấm nước yếu ngăn cách tầng chứa nước với nước biển nằm trên thì đới chuyển tiếp có thể nằm ở ngoài bờ biển của tầng chứa nước.



2.3 Xâm nhập mặn do nước biển

Khi nước ngọt được khai thác với tốc độ lớn hơn so với tốc độ làm mới thì lượng mất đi có thể được bù đắp bởi dòng chảy vào của nước biển. Các giếng ở vị trí cận kề với đới chuyển tiếp nhạt-mặn có nguy cơ bị nhiễm mặn tức thì (Hình 2.4), đặc biệt nếu nước biển có trong tầng chứa nước bên dưới giếng. Trong trường hợp đó, sự di chuyển theo hướng thẳng đứng của nước do tác động của khai thác có thể dẫn đến quá trình được gọi là nâng phễu nước mặn, là một trong những nguyên nhân phổ biến nhất gây nhiễm mặn nước giếng. Sự dịch chuyển theo phương ngang của nước biển cũng diễn ra nhưng với điều kiện khoảng cách giữa các giếng khai thác và đường bờ biển thường vào khoảng vài km, các tác động của xâm nhập mặn theo phương ngang thường lâu hơn so với quá trình nâng phễu mặn.

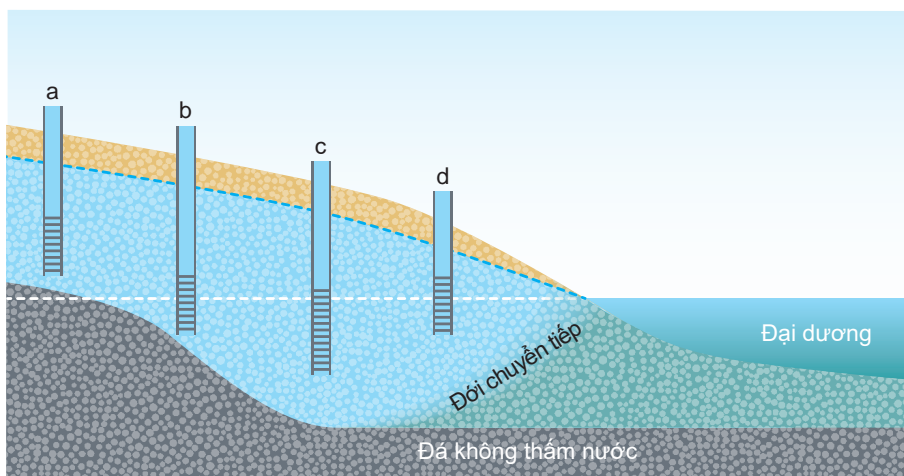
Hình 2.4: Sự xâm nhập mặn trong tầng chứa nước ven biển do tác động của khai thác. Giếng gần bờ biển nhất gây ra hiện tượng nâng phễu nước biển mặn.



Custudio và Bruggeman (1987) đã cung cấp một số quy tắc ngón tay cái thô sơ để ước tính nguy cơ của xâm nhập mặn do nước biển đối với các loại giếng khác nhau (Hình 2.5):

- Giếng xa bờ biển, nơi đáy tầng chứa nước cao hơn mực nước biển. Nước biển không có khả năng xâm nhập trực tiếp, nhưng lượng khai thác cao làm giảm bề dày đới bão hòa và giảm sản lượng của các giếng.
- Giếng xa bờ biển và xa nêm nước biển tự nhiên nhưng đáy tầng chứa nước thấp hơn mực nước biển. Nước biển có khả năng xâm nhập vào giếng khi khai thác nước diễn ra trong thời gian dài.
- Giếng gần bờ biển nhưng không nằm ở vị trí ngay trên nêm nước biển có thể có nguy cơ nhiễm mặn từ nước biển trong trường hợp khai thác với công suất lớn.
- Giếng được khoan trên nêm nước biển. Nguy cơ nhiễm mặn là rất cao, thậm chí với công suất khai thác thấp.

Cũng giống như công thức Ghijben-Herzberg, các nguyên tắc ngón tay cái này có thể cung cấp một số hướng dẫn mà không có dữ liệu nước dưới đất chi tiết. Nhưng, như sẽ được làm rõ trong phần sau, việc quản lý tầng chứa nước ven biển sẽ không thể thành công nếu ta không hiểu biết đầy đủ các tương tác phức tạp giữa nước ngầm mặn và nước ngầm nhạt.

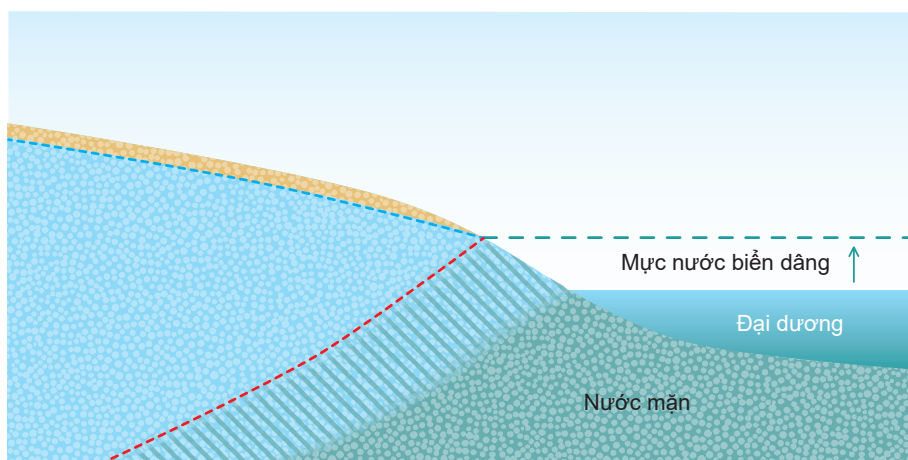


Hình 2.5: Nguy cơ xâm nhập mặn của nước biển đối với các vị trí giếng khác nhau. Xem phần nội dung để có thông tin chi tiết hơn về các giếng được đánh số từ a đến d.

2.4 Các tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng

Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC 2007) đã định nghĩa tính dễ tổn thương của một hệ thống tầng chứa nước ven biển đối với hiểm họa là cấp độ mà hệ thống “dễ bị tổn thương và không thể đối phó với các tác động nghiêm trọng của nước biển dâng hoặc khai thác nước dưới đất”. Điều không được xem xét trong định nghĩa này là thực tế những thay đổi về nhiệt độ và lượng mưa có thể dẫn đến sự thay đổi về lượng bổ cập. Khi lượng bổ cập giảm, hoặc hạn hán kéo dài hơn so với khí hậu hiện nay, áp lực lên tài nguyên nước dưới đất sẽ gia tăng, đặc biệt khi nhiệt độ tăng cao sẽ dẫn đến tốc độ bốc hơi cao và do đó nhu cầu nước tưới tiêu và sinh hoạt cũng tăng lên. Mặt khác, khi lượng bổ cập tăng lên thì mực nước dưới đất cũng tăng lên dẫn đến tăng lượng trữ nước nhạt tại các tầng chứa nước. Vấn đề mà các nhà quản lý tài nguyên nước phải đối mặt là sự phát triển trong tương lai của các hình thái thời tiết, lượng bổ cập và nhu cầu vì chúng đã đang trở nên cực kỳ khó dự đoán và có rất nhiều bất chắc.

Hình 2.6: Tác động của mực nước biển dâng đối tầng chứa nước ven biển lý tưởng.



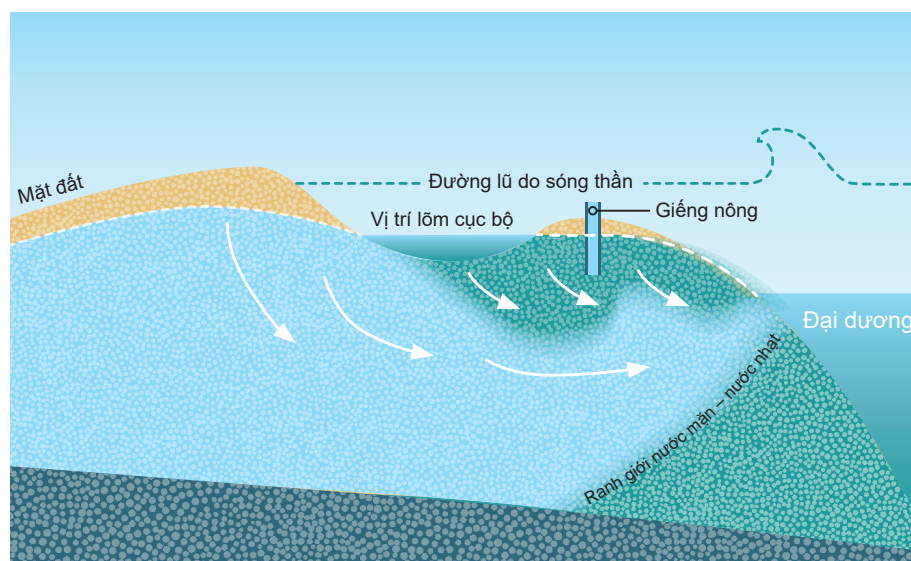
Mức nước biển được dự đoán sẽ tăng lên vài dm dọc theo hầu hết các bờ biển trên thế giới trong thế kỷ 21. Các tác động đến trữ lượng nước ngầm trở nên rất khó dự đoán dựa vào kinh nghiệm và phụ thuộc rất nhiều vào các điều kiện thủy văn của địa phương. Trong đa số các trường hợp, nước biển dâng cao thường dẫn đến mất nước ngầm do có sự dịch chuyển của nôm nước biển về phía đất liền (Hình 2.6) và nguy cơ xảy ra lũ lụt cao hơn (Mục 2.5). Tuy nhiên, trong một số trường hợp, nước biển dâng có thể dẫn đến tăng trữ lượng nước ngầm. Điều này có vẻ như hoàn toàn phản trực quan nhưng nó có thể xảy ra khi mực nước biển dâng cao làm tăng khả năng trữ nước ngầm do mực nước dưới đất dâng lên mà không ảnh hưởng đến vị trí của tương tác mặn nhạt. Đây là trường hợp xảy ra đối với một số đảo san hô vòng (White và Falkland 2010) nếu nước biển dâng cao không đi kèm với việc mất đất do sạt lở vùng ven biển hoặc ngập lụt tại các vùng trũng. Ferguson và Gleeson (2012) khẳng định rằng hầu hết các tầng chứa nước ven biển bị tổn thương do hoạt động khai thác nước ngầm hơn là do tác động của mực nước biển dâng như dự đoán. Điều này cho thấy việc sử dụng nước của con người mới chính là tác nhân chủ yếu dẫn đến xâm nhập mặn của nước biển.

Trong khi biến đổi khí hậu trong tương gần là mối lo ngại có thật và khẩn cấp thì tại nhiều tầng chứa nước ven biển, sự phân phối độ mặn do các điều kiện thủy văn trong quá khứ vẫn tồn tại. Thật vậy, mực nước biển, các vị trí đường bờ biển và tốc độ bồi đắp luôn biến đổi trong lịch sử địa chất. Tại các khu vực ven biển nơi đường bờ biển đã tiến sâu hơn vào đất liền, đây là trường hợp xảy ra ở nhiều đới ven biển trong thiên niên kỷ qua, thì di tích của nước biển vẫn tồn tại trong hệ thống tầng chứa nước. Mặt khác, trong các thời kỳ băng hà của kỷ Đệ tứ, rất nhiều khu vực đáy biển bị khô và hình thành nên trữ lượng nước ngầm. Các nguồn dự trữ này vẫn được bảo tồn bên dưới đáy biển ở nhiều vị trí khác nhau trên toàn thế giới. Chính sự phức tạp đó làm cho các dự đoán dựa trên những biểu hiện đơn thuần của các quá trình tự nhiên cũng như các tác nhân con người tại các đới ven biển có thể dẫn đến sai lầm (Mục 3.3).

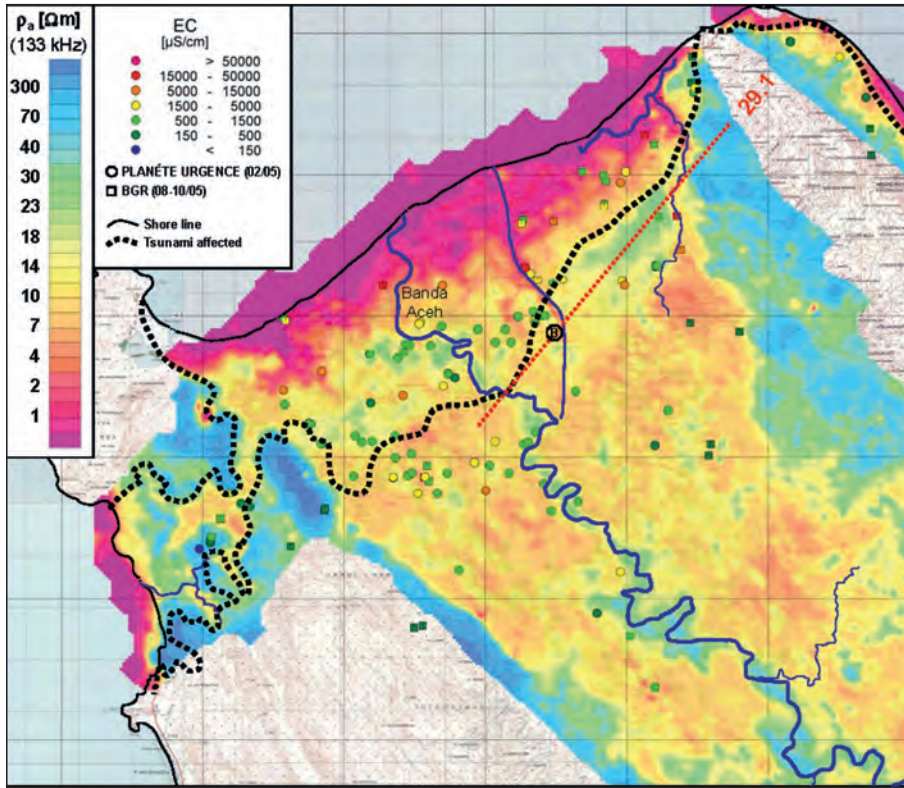
2.5 Các tác động của thiên tai đến các tầng chứa nước ven biển

Các đới ven biển với địa hình thấp thường hứng chịu thiên tai do sóng lớn và sóng thần. Ngoài tác động phá hủy tức thời đến mạng sống con người và cơ sở hạ tầng, chúng còn là mối đe dọa đến nguồn tài nguyên nước ngầm. Trong một trận lụt, nước biển ngấm vào đất và làm ô nhiễm nguồn nước ngầm nhạt (Villholth và Neupane 2011). Những vị trí có địa hình lõm và các giếng đào có đường kính lớn đặc biệt trở nên dễ bị tổn thương vì các vùng nước biển ở đó không chảy trở lại biển sau khi xảy ra thảm họa (Hình 2.7). Các tầng chứa nước không áp chịu tác động lớn nhất từ các thảm họa thiên nhiên này. Những tầng chứa nước sâu có áp thường được bảo vệ tốt hơn một cách tương đối với những rủi ro do thiên tai trong ngắn hạn nhưng cũng có thể chịu những hậu quả tiêu cực trong dài hạn (Cardenas và cộng sự 2015).

Hình 2.7: Đồ họa được lý tưởng để thể hiện hiện tượng ngập lụt trong nước biển gây ra do sóng thần. Trong thảm họa sóng thần, nước biển tràn vào những nơi có địa hình trũng và các giếng đào lộ thiên và xâm nhập vào nước dưới đất (được chỉnh sửa từ Villholth và Neupane 2011).



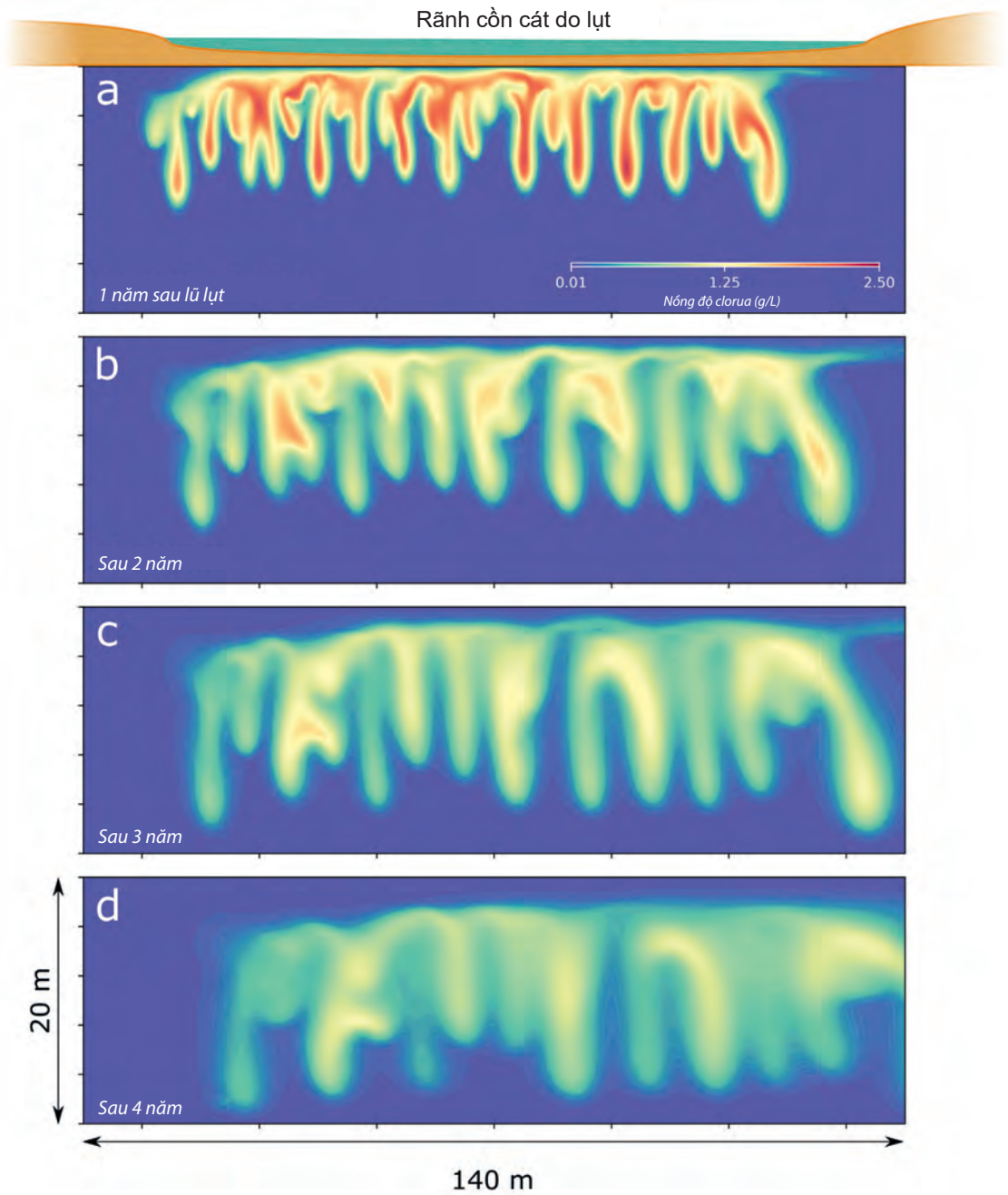
Sau thảm họa sóng thần năm 2004, nhiễm mặn nước dưới đất được ghi nhận tại Ấn Độ, Sri Lanka và Indonesia (Villholth và Neupane 2011). Tại Indonesia, sóng thần đã làm nhiễm mặn hàng ngàn giếng nước nông tại vùng ven biển tỉnh Nanggroe Aceh Darssalam ở miền bắc Sumatra (Siemon và Steuer 2011). Động đất đã phá hoại hệ thống cấp nước và nhiều lần khoan mới để khai thác nước dưới đất phục vụ ăn uống đã không thành công do thiếu kiến thức về ĐCTV của khu vực. Nguồn cung nước do đó đã bị tổn hại nghiêm trọng. Các cuộc điều tra địa vật lý tiến hành bằng máy bay cho thấy nước mặn vẫn hiện diện trong bán kính vài km về phía đất liền 9 tháng sau thảm họa (Hình 2.8).



Hình 2.8. Điện trở suất của nước ngầm tầng nông tại phía bắc của khu vực khảo sát Banda Aceh 9 tháng sau thảm họa sóng thần năm 2004. Các giá trị điện trở suất thấp cho thấy độ mặn của nước dưới đất cao. Các mẫu điện trở suất của nước (các chấm tròn và vuông tô màu), phạm vi tối đa của ngập lụt do sóng thần gây ra (đường đứt màu đen) và các sông chính (các đường xanh) được sơ đồ hóa ở phía trên (Siemon và Steuer 2011).

Nhiễm mặn nước dưới đất tầng nông cũng xảy ra sau những đợt sóng lớn do bão như bão nhiệt đới Haiyan trên đảo Samar, Philippines năm 2013. Sóng biển cao tới 7m so với mực nước biển trung bình đã làm nhiễm mặn tầng chứa nước phía trên do nước biển ngấm từ mặt đất xuống tầng chứa nước. Tầng chứa nước có áp sâu hơn bị nhiễm mặn chủ yếu do các giếng khai thác được che đậy sơ sài. Độ mặn đã giảm đáng kể sau 8 tháng nhưng độ mặn của nước trong tầng chứa nước nông không áp phía trên được cho là vẫn còn cao trong vài năm, nguy cơ nhiễm mặn nước dưới đất tầng sâu vẫn tồn tại.

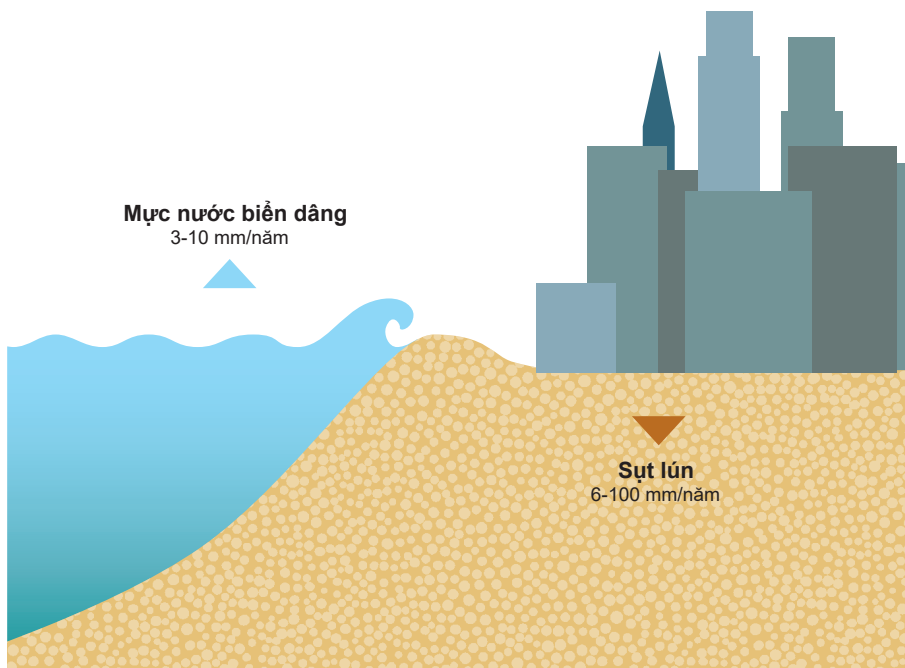
Hình 2.9 cho thấy các tác động của trận bão lũ năm 1962 đến độ mặn của nước dưới đất tại đảo Baltrum miền bắc nước Đức. Một khía cạnh quan trọng là nhiễm mặn nước nhạt diễn ra nhanh chóng do nước mặn chìm xuống dưới theo hình những ngón tay muối vì nó có mật độ cao hơn so với nước nhạt. Tuy nhiên sự chênh lệch về mật độ này trở nên nhỏ hơn theo thời gian do các tác động pha trộn. Điều đó có nghĩa rằng các ngón tay muối không chìm sâu thêm mà phải được rửa sạch bởi dòng chảy nước dưới đất tự nhiên ở bên. Vì thế trong khi sự phá hủy tài nguyên diễn ra nhanh (vài tuần đến vài tháng) thì việc khôi phục lại độ mặn tự nhiên lại diễn ra rất chậm (vài năm).



Hình 2.9: Các mặt cắt thể hiện hàm lượng clorua sau khi một rãnh cồn cát rộng 100m bị ngập trong nước biển tại đảo Baltrum của Đức trong trận lụt năm 1962. Các màu chỉ hàm lượng clorua sau (a) 1, (b) 2, (c) 3 và (d) 4 năm kể từ sau trận lụt.

2.6 Sụt lún nền đất

Sự hạ thấp bề mặt đất tương đối so với mực nước biển có thể là một tác nhân khác gây ra xâm nhập mặn do nước biển (Hình 2.10). Các đới ven biển nơi thường xảy ra hiện tượng sụt lún nền đất là các đới có các lớp sét và than bùn dưới bề mặt. Theo ước tính, có khoảng nửa tỉ người sống tại các vùng châu thổ bị đe dọa bởi hiện tượng sụt lún đất (Syvitski và cộng sự 2009). Nguyên nhân hàng đầu là do mất sự hỗ trợ mang tính cấu trúc của các hạt đá dưới bề mặt, chủ yếu do hoạt động khai thác nước quá mức (USGS 2016). Một nguyên nhân khác của hiện tượng sụt lún đất là do sự hạ thấp mực nước do thoát nước trên bề mặt. Hiện tượng này làm ô-xy hóa hàng loạt các-bon hữu cơ của đất tại các khu vực than bùn.



Hình 2.10. Các hiệu ứng tổng hợp của nước biển dâng và sụt lún đất (theo Deltares 2015)

Biến đổi khí hậu

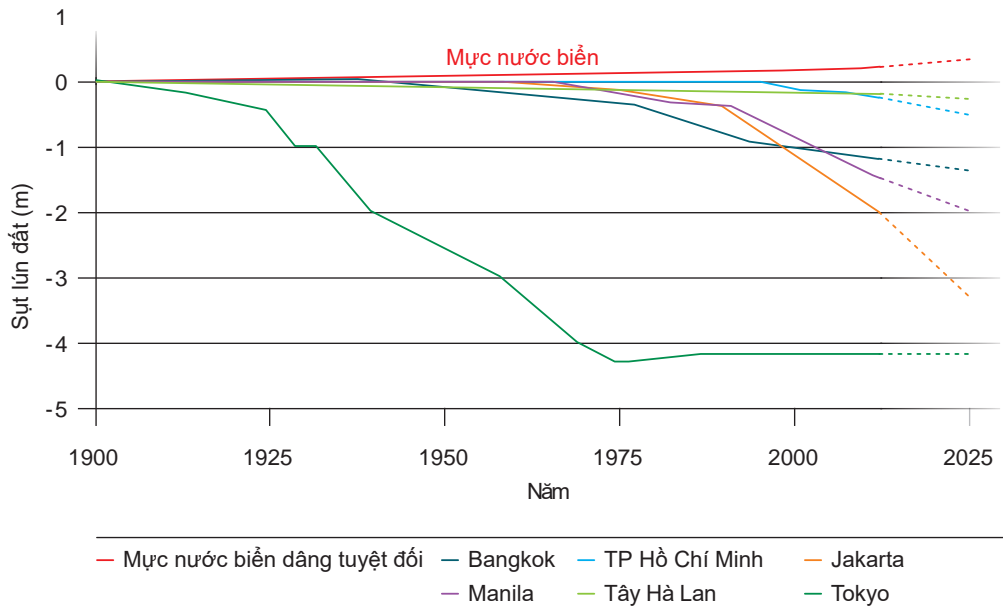
Mực nước biển tăng nhanh
Các hiện tượng thời tiết cực đoan

Phát triển kinh tế xã hội

Đô thị hóa và
tăng trưởng dân số
làm gia tăng nhu cầu về nước

Sự mở rộng nhanh chóng của các khu đô thị yêu cầu một lượng nước lớn cung cấp cho sinh hoạt và sản xuất công nghiệp. Điều này thường dẫn đến việc khai thác quá mức tài nguyên nước dưới đất. Ví dụ tại thành phố Dhaka, Bangladesh, khai thác nước dưới đất quy mô lớn liên tục đã gây ra hiện tượng hạ thấp mực nước 2-3m mỗi năm (Deltares 2015). Khai thác nước dưới đất cũng gây ra hiện tượng sụt lún nền đất nghiêm trọng. Các hiện tượng tương tự cũng đang diễn ra tại các thành

phố ven biển khác như Jakarta (Indonesia), TP Hồ Chí Minh (Việt Nam) và Bangkok (Thái Lan). Mức nước biển dâng trung bình trên toàn cầu hiện nay vào khoảng 3mm/năm. Tốc độ này được dự đoán sẽ tăng lên trong tương lai (IPCC 2013), nhưng vẫn ở mức khá nhỏ so với các tỉ lệ sụt lún nền đất 6-100 mm/năm tại một số siêu đô thị ven biển (Hình 2.11). Điều này một lần nữa cho thấy các hoạt động của con người là nhân tố chủ yếu gây nên hiện tượng xâm nhập mặn của nước biển.



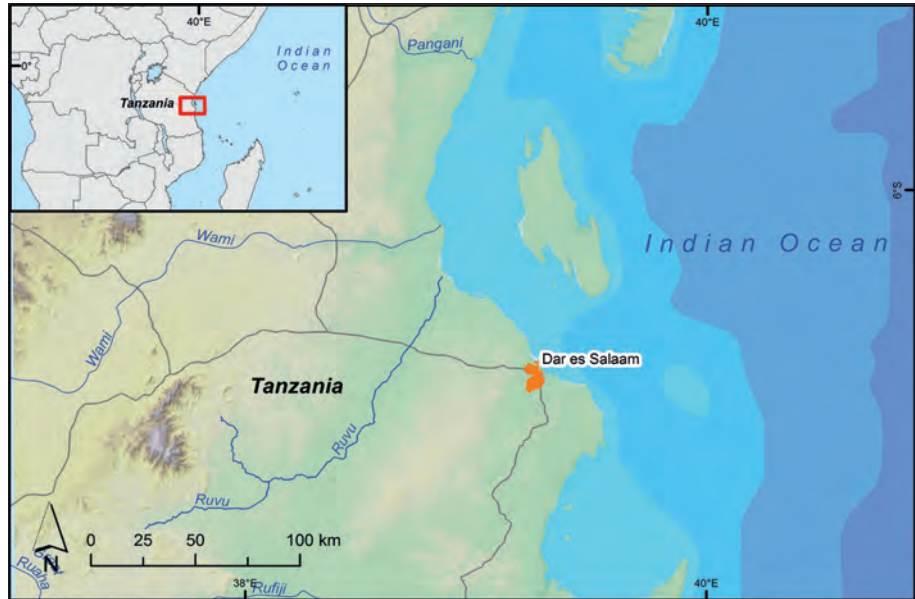
Hình 2.11: Mức nước biển dâng tuyệt đối và sụt lún đất trung bình tại một số thành phố ven biển (lưu ý rằng sụt lún đất có thể khác nhau đáng kể trong một khu vực đô thị, phụ thuộc vào mực nước dưới đất và các đặc tính của dòng chảy dưới bề mặt (Deltares 2015).

3. Các thách thức trong quản lý tài nguyên nước tại các đới ven biển

Các hoạt động của con người tác động đến hệ thống nước dưới đất ven biển trên nhiều mặt và vượt ra ngoài hoạt động khai thác nước từ các tầng chứa nước ven biển. Sụt lún đất đã được đề cập trong các nội dung phía trên, những thay đổi trong sử dụng đất, cải tạo sông và khai thác mỏ cũng là các tác nhân quan trọng dẫn đến hiện tượng xâm nhập mặn (Hình 1.2). Những nghiên cứu điển hình tại các khu vực duyên hải khác nhau được trình bày trong chương này nhằm minh họa các tác động nghiêm trọng của hoạt động con người và những thách thức trong quản lý tài nguyên nước tại các đới ven biển.

3.1 Sự tăng trưởng dân số nhanh (Dar es Salaam, Tanzania)

Bản đồ 3.1. Bản đồ vị trí Dar es Salaam, Tanzania



Bối cảnh

Dar es Salaam (Map 3.1) là một trong những trung tâm đô thị tăng trưởng nhanh nhất của Châu Phi. Năm 1957, dân số của Dar es Salaam là 128.000, hiện con số đã tăng lên thành 4,1 triệu. Thành phố này có khả năng trở thành “siêu đô thị” – với dân số trên 10 triệu người - vào đầu những năm 2030 (Ngân hàng Phát triển Châu Phi 2014). Theo Skinner và Walnycki (2016), 51% dân số của Dar es Salaam được cung cấp nước thông qua hệ thống đường ống vào năm 2013. Nguồn nước này được khai thác chủ yếu từ sông Ruvu gần đó và từ tầng chứa nước Kimbiji, một tầng chứa nước có chiều sâu tối đa 600m. Phần dân số còn lại - hầu hết sống tại các khu định cư không chính thức và thu nhập thấp không kết nối với hệ thống đường ống cấp nước tập trung – khai thác nước từ tầng chứa nước nông bên dưới thành phố. Xâm nhập mặn đã xảy ra tại trung tâm thành phố gần bờ biển, nơi các nồng độ clorua vượt quá tiêu chuẩn nước uống của WHO 250 mg/l.

Hậu quả

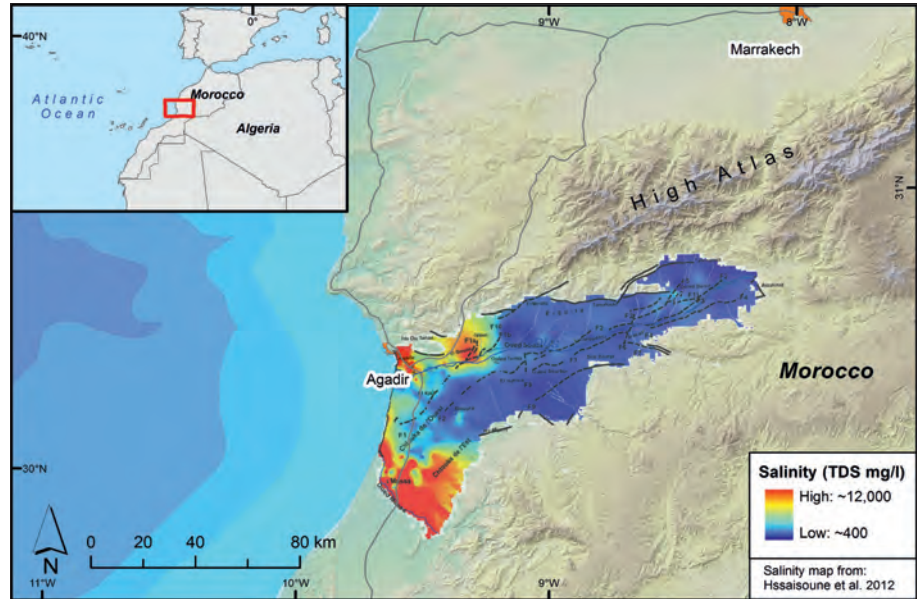
Quá trình đô thị hóa nhanh chóng đã gây ra hiện tượng xâm nhập mặn theo hai cách. Một mặt, do sự thay đổi rộng khắp trong sử dụng đất do sự mở rộng của các khu định cư mới cùng với cơ sở hạ tầng đô thị tại các vùng đồng bằng

ven biển làm giảm khả năng bổ cấp của nước mưa, và do đó giảm lượng bổ cấp cho nước nhạt tại các tầng chứa nước nông. Mặt khác, hoạt động khai thác từ tầng chứa nước nông tăng nhanh nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng cao (Sappa và Luciani 2014: 466). Có tới 10.000 lỗ khoan không hợp pháp được xây dựng để khai thác nước từ các tầng chứa nước nông.

Để xử lý các vấn đề trên, cần thiết phải can thiệp vào các dịch vụ về nước, sự phát triển đô thị và quy hoạch môi trường. Mở rộng mạng lưới cấp nước có thể ngăn chặn tình trạng khai thác nước dưới đất trái phép và mất kiểm soát từ các tầng chứa nước nông. Tuy nhiên, cần phải mất nhiều năm mới xây dựng được một mạng lưới phân phối nước uống đến cho tất cả dân cư. Ngay cả khi mạng lưới này đến được với những khu phố nghèo thì chi phí kết nối và vận hành có thể sẽ trở nên quá cao đối với những người nghèo nhất và do đó có thể họ lại chọn tiếp tục sử dụng nước dưới đất khai thác từ giếng trái phép. Cần thiết phải tiến hành cải tổ về thể chế để kiểm soát và quản lý tất cả các nguồn nước khác nhau. Tất cả các nguồn nước cấp từ trung ương (nước mặt và tầng chứa nước sâu) và địa phương (tầng chứa nước nông) cần phải được quản lý tổng hợp và có tính liên kết (Sappa và Luciani 2014). Tại thời điểm thực hiện ấn bản này, nước cấp từ hệ thống đường ống và từ tầng chứa nước nông đang được quản lý bởi các cơ quan khác nhau. Để có sự quản lý bền vững nhằm ngăn chặn hiện tượng xâm nhập mặn gia tăng, cần phải có một cơ quan trung ương điều tiết thống nhất. Việc quản lý nên dựa trên cơ sở dữ liệu, điều này đòi hỏi phải có một mạng lưới quan trắc có hệ thống đối với các tầng chứa nước nông cũng như quan trắc những biến động trong hoạt động cấp và sử dụng nước (Skinner và Walnycki 2016).

3.2 Mở rộng nông nghiệp tưới tiêu (Lưu vực Souss-Massa, Ma Rốc)

Bản đồ 3.2: Độ mặn (TDS) của tài nguyên nước dưới đất trong tầng chứa nước nông (Hssaisoune và cộng sự 2012).



Bối cảnh

Lưu vực Souss-Massa nằm ở bờ biển Atlantic thuộc trung tâm Ma rốc là một khu vực phát triển kinh tế trọng yếu của quốc gia này do có nền nông nghiệp tưới tiêu sản lượng cao và có ngành công nghiệp du lịch. Phát triển nông nghiệp đã gia tăng đáng kể từ những năm 1980 và đã trở thành ngành định hướng xuất khẩu mạnh mẽ. Năm 2008, chính phủ Ma rốc đã triển khai Kế hoạch Ma rốc xanh (“Plan maroc Vert”). Kế hoạch này bao quát toàn bộ kế hoạch phát triển ngành nông nghiệp. Kế hoạch này bao gồm một khoản đầu tư hàng năm 1 tỉ USD từ năm 2008 đến 2020 nhằm nâng cao sản xuất và tăng sản lượng xuất khẩu nông sản. Việc này tạo thêm áp lực đối với tài nguyên nước đang rất hạn chế. Lưu vực Souss-Massa hiện là khu vực nông nghiệp có năng suất đứng thứ hai tại Ma rốc, đặc biệt là rau và cam quýt. Khu vực canh tác chiếm 160.410 ha, trong đó khoảng 50% được tưới tiêu (Choukr-Al-lah 2016). Vùng này có khí hậu khô cằn với lượng mưa trung bình hàng năm vào khoảng 250 mm (Bouchaou và cộng sự 2008). Lượng mưa ngày càng trở nên bất thường. Nước bắt nguồn chủ yếu từ nước dưới đất và từ nước mặt được lưu trữ tại 7 hồ chứa. Nhu cầu nước cho nông nghiệp vượt xa công suất cấp nước bền vững.

Các hậu quả

Tình hình tại Lưu vực Sous-Massa minh họa các thách thức trong việc kết hợp mở rộng nông nghiệp với quản lý nước dưới đất bền vững. Khai thác nước dưới đất đã khiến mực nước giảm từ 0,5 đến 2,5m mỗi năm, và độ mặn đã gia tăng. Nhiễm mặn nước dưới đất không chỉ liên quan đến sự xâm nhập mặn của nước biển mà còn do sự thâm nhập theo chiều thẳng đứng của nước biển cổ bị lưu giữ trong tầng chứa nước và sự hòa tan của khoáng vật địa chất. Đồng thời, nồng độ nitrat đang tăng lên do sử dụng phân bón trong nông nghiệp (Bouchaou và cộng sự 2008). Các tầng chứa nước nông ở khu vực phía tây của lưu vực có độ mặn ở mức cao nhất (Bản đồ 3.2).

Để làm giảm nhu cầu thì mục đích chính là tăng hiệu suất sử dụng nước tưới tiêu bằng cách thúc đẩy và hỗ trợ các hệ thống tưới tiêu nhỏ giọt thay thế cho hệ thống phun tưới và tưới ngập (Closas và Villholth 2016). Cơ quan quản lý tài nguyên nước đã phát triển một kế hoạch quản lý tổng hợp tài nguyên nước (IWRM) cho lưu vực và đề ra khung pháp lý nhằm dịch chuyển ngành nông nghiệp theo hướng sử dụng nước hiệu quả hơn và kiểm soát được hoạt động khai thác. Tuy nhiên, sự tuân thủ và thực thi các quy định mới này vẫn còn là một thách thức trong bối cảnh phát triển nông nghiệp đầy tham vọng của lưu vực (Choukr-Allah và cộng sự 2016).

3.3 Sử dụng nước dưới đất không kiểm soát và các lỗ hổng kiến thức (Châu thổ sông Nile, Ai Cập)

Bản đồ 3.3: Bản đồ vị trí Châu thổ sông Nile, Ai Cập



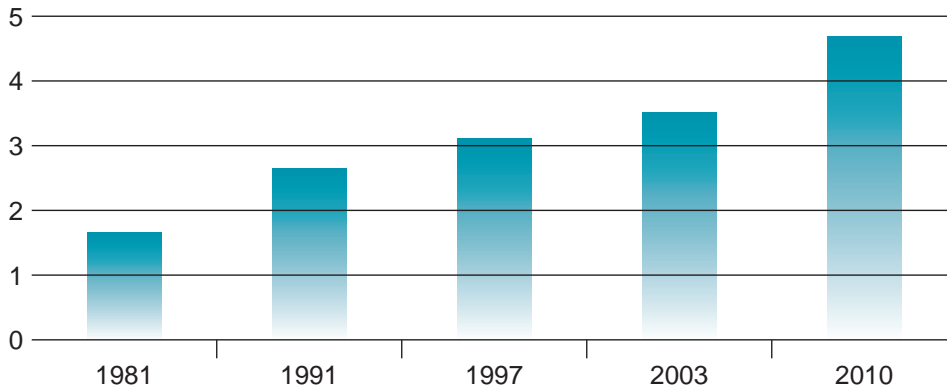
Bối cảnh

Nền nông nghiệp tưới tiêu tại Châu thổ sông Nile (Bản đồ 3.3) có tầm quan trọng sống còn đối với nền kinh tế của Ai Cập. Nông nghiệp cung cấp việc làm cho hơn 2 triệu người, và khoảng 65% bề mặt tưới tiêu của quốc gia này được tập trung tại đây (Molle và cộng sự 2016). Mặc dù nước tưới tiêu được lấy chủ yếu từ sông Nile, việc sử dụng nước dưới đất cũng đang tăng lên (Hình 3.1). Số lượng các giếng đăng ký đã tăng lên đáng kể trong những năm gần đây (Bảng 3.1). Trong khi chỉ hơn 32.000 giếng được đăng ký chính thức năm 2016, ước tính số giếng khai thác trong thực tế lên tới 73.000 (Molle và cộng sự 2016). Đặc biệt khi lượng cung nước mặt giảm, số lượng nông dân sử dụng nước dưới đất tăng lên để vượt qua sự khan hiếm nước (El-Agha và cộng sự 2017). Những ghi nhận về lịch sử khai thác cho thấy có sự gia tăng liên tục về lưu lượng khai thác trong khoảng từ 1981 đến 2010.

Bảng 3.1: Sự phát triển về số lượng các giếng khai thác tại châu thổ sông Nile từ năm 1952 đến 2016 (Molle và cộng sự 2016)

Năm	Số lượng giếng
1952	5,600
1991	13,000
2011	22,905
2016	32,054

Lưu lượng khai thác (km³/ năm)



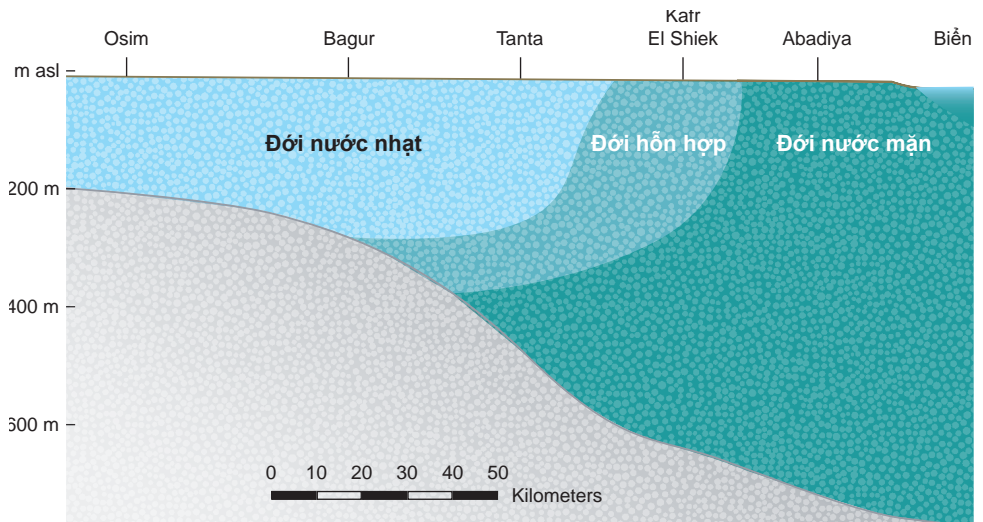
Hình 3.1: Lưu lượng khai thác theo thời gian tại Châu thổ sông Nile (phỏng theo Mabrouk và cộng sự, 2013)

Châu thổ sông Nile có một hệ thống tầng chứa nước lớn bao gồm các trầm tích bờ rời (Leaven 1991). Nguy cơ xâm nhập mặn từ nước biển và xâm nhập mặn do quá trình nâng phễu của nước mặn sâu làm hạn chế lượng nước nhạt có thể khai thác. Tuy vậy, việc sử dụng nước dưới đất tại Châu thổ sông Nile phần lớn không được kiểm soát. Mặc dù quy trình cấp phép xây dựng giếng đã được ban hành, nhiều nông dân vẫn không có ý thức về các thủ tục này, việc đăng ký giếng nông nghiệp do vậy vẫn còn là một ngoại lệ (El-Agha và cộng sự 2017).

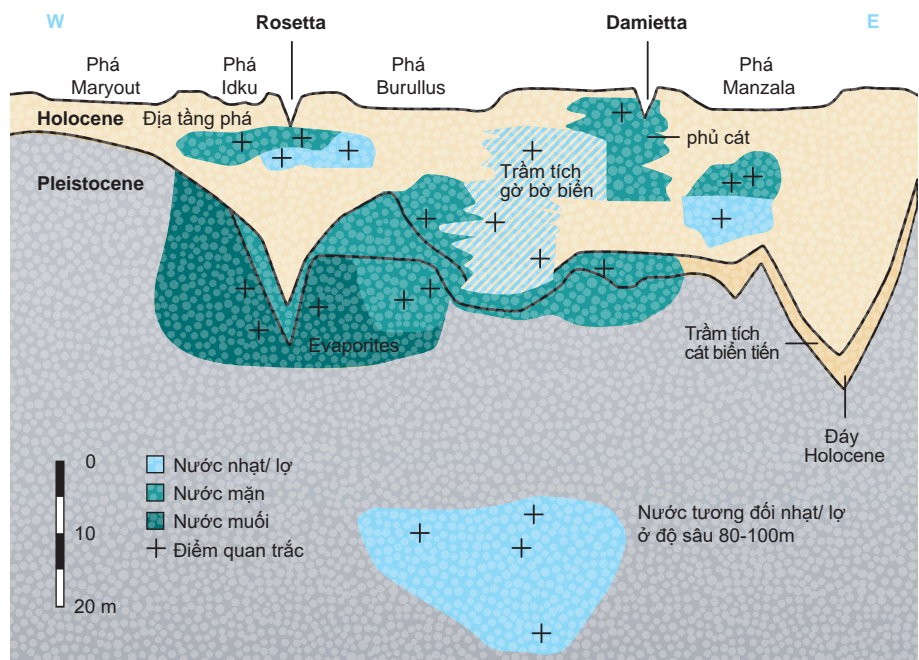
Các hậu quả

Do thiếu số liệu quan trắc nước dưới đất nên nhiều mô hình khái niệm về tầng chứa nước đã được đề xuất, điều này cản trở việc phát triển một khái niệm quản lý nước dưới đất bền vững. Một số cho rằng có một khối nước biển đang xâm nhập sâu vào đất liền với bán kính 100km từ bờ biển Địa Trung Hải (chẳng hạn Sherif và cộng sự 2012), một số khác khẳng định tồn tại một số khối nước dưới đất mặn rời rạc có nguồn gốc khác nhau (Kooi và Groen 2003). Lập luận này được minh họa bằng hai mặt cắt trong các Hình 3.2 và 3.3. Các hình này mô tả hai mô hình khái niệm đối lập nhau của cùng một hệ thống. Mặc dù hướng của các mặt cắt này khác nhau (bắc-nam và đông-tây), chúng thể hiện một cách rõ ràng những hiểu biết khác nhau từ những nhà nghiên cứu khác nhau về cùng một hệ thống.

Sự bất đồng như vậy rõ ràng là một vấn đề, vì chỉ khi có được một sự hiểu biết đúng đắn về hệ thống tầng chứa nước mới có thể hình thành nên tiền đề cho quản lý hiệu quả. Hơn nữa, nếu không một cơ sở dữ liệu tin cậy thì những kịch bản dự đoán về tương lai phát triển của nước ngầm dựa vào mô hình toán sẽ không đáng tin cậy. Nguy cơ suy thoái nghiêm trọng đối với tài nguyên nước nhạt là hiện hữu nếu tiếp tục khai thác nước dưới đất thiếu kiểm soát (Dawoud 2004).

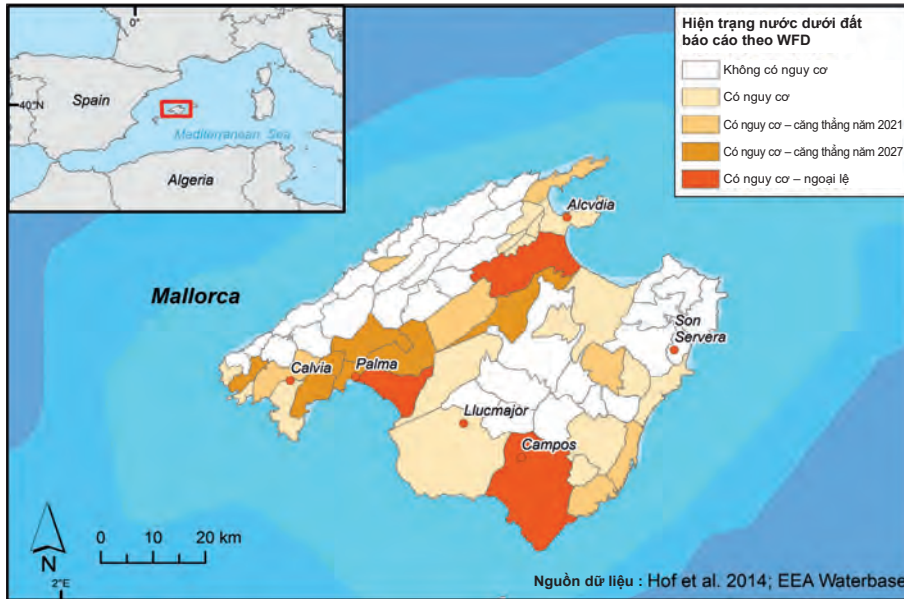


Hình 3.2: Mặt cắt ĐCTV theo hướng bắc nam của châu thổ sông Nile theo Farid (1985). Mô hình khái niệm này đơn thuần xem xét xâm nhập mặn của nước biển như một nguồn nước mặn.



Hình 3.3: Mô hình ĐCTV khái niệm của châu thổ sông Nile theo Kooi và Groen (2003). Không chỉ là một khối nước mặn ngầm lớn như trong Hình 3.2, mô hình này mô tả hệ thống nước dưới đất với giả thiết sự phân bố mặn của nước dưới đất mang tính địa lý cục bộ nhiều hơn, và muối hòa tan có thể có nhiều nguồn gốc ngoài nguồn gốc từ xâm nhập mặn của nước biển. Phân tô bóng màu xám được sử dụng để nhấn mạnh sự khan hiếm của dữ liệu.

3.4 Nước dưới đất tại một điểm nóng du lịch (Mallorca, Tây Ban Nha)



Bản đồ 3.4: Bản đồ vị trí Mallorca và hiện trạng nước dưới đất báo cáo theo Chỉ thị khung về nước Châu Âu (WFD)

Bối cảnh

Các tầng chứa nước ven biển của vùng Địa Trung Hải rất dễ bị tổn thương bởi xâm nhập mặn của nước biển do nhiều yếu tố kết hợp. Yếu tố quan trọng nhất là nhu cầu nước cao trong các tháng mùa hè khô hạn và độ thấm cao của các tầng chứa nước. Vấn đề trở nên đặc biệt nghiêm trọng tại các đảo, nơi trữ lượng nước khả dụng bị hạn chế do diện tích.

Các vấn đề liên quan đến nước của Đảo Balearic của Tây Ban Nha là điển hình của nhiều vùng Địa Trung Hải nơi chứng kiến sự phát triển kinh tế mạnh mẽ trong các thập niên gần đây. Trên đảo Mallorca, ngành du lịch đang tăng trưởng mạnh mẽ với lượng khách du lịch năm 2015 lên tới gần 10 triệu người (Agencia de Turisme de les Illes Balears 2016), gấp hơn 10 lần số lượng cư dân ở đây (Deya-Tortella và cộng sự 2016). Du lịch là một tác nhân quan trọng đối với quá trình đô thị hóa tại các khu vực ven biển, chiếm tới một nửa lượng nước sử dụng của đô thị. Nếu trước đây nông nghiệp là ngành tiêu thụ nước nhiều nhất trên đảo thì nay nước đô thị chiếm hầu hết lượng tiêu thụ.

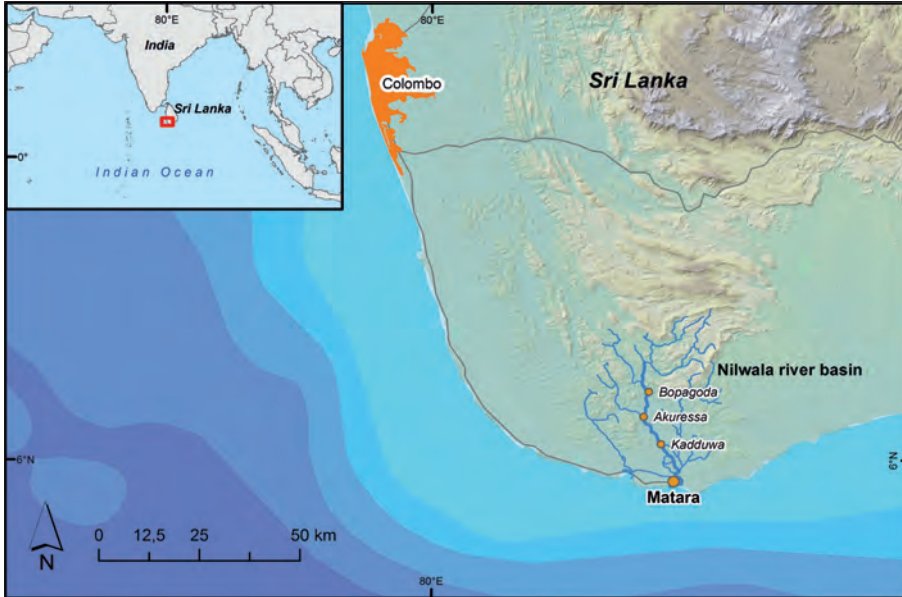
Lượng mưa trên đảo Mallorca phân phối không đồng đều trong năm. Gần một nửa lượng mưa hàng năm rơi vào tháng Chín và tháng Mười, trong khi gần như không có mưa từ tháng Sáu đến tháng Tám (Garing và cộng sự 2013). Tổng trữ lượng nước mặt và nước dưới đất có thể khai thác là 227 triệu m³/năm, lượng này đủ đáp ứng nhu cầu 210 triệu m³/năm cho toàn đảo (Hof và cộng sự 2014). Nước dưới đất cung cấp 3/4 nhu cầu, phần còn lại sử dụng nước tái chế từ nước thải đã qua xử lý, nước biển khử mặn và nước mặt.

Các hậu quả

Sự phụ thuộc vào nước dưới đất để đáp ứng nhu cầu của dân cư địa phương sống dọc bờ biển đã gây ra hiện tượng xâm nhập mặn từ nước biển trên diện rộng (Lopez-Garcia và Mateos Ruiz 2003), làm nảy sinh những xung đột trong việc sử dụng, bảo vệ và quản lý tài nguyên nước dưới đất (Karim và cộng sự 2008). Một phần năm trong tổng lượng nước dưới đất được xếp vào loại bị sử dụng quá mức nghiêm trọng theo Chỉ thị về Nước dưới đất của Liên minh Châu Âu (Hof và cộng sự 2013, Bản đồ 3.4). Theo đó, Quy hoạch Thủy văn của Đảo Balearic (PHIB) áp dụng từ năm 2013 đã dự đoán được các giới hạn khai thác. Tuy nhiên, do có sự thay đổi trong chính phủ, giới hạn khai thác trên bị dỡ bỏ do các tác động tiêu cực về mặt tài chính của các biện pháp trên đối với ngành du lịch và nông nghiệp.

Việc áp dụng các biện pháp tiết kiệm nước đã phần nào giúp giảm bớt lượng sử dụng nước đô thị từ năm 2005 đến 2012. Tuy nhiên, số lượng du khách kỷ lục từ năm 2016 (Reuters World News ngày 30/5/2016), kết quả của nỗi lo sợ khủng bố tại các điểm đến khác ở Địa Trung Hải, đã phủ định kết quả của các biện pháp tiết kiệm đạt được. Nếu không có các biện pháp bổ sung thì tài nguyên nước nhạt sẽ vẫn phải đối mặt với nguy cơ và sự căng thẳng về nước trong tương lai có thể trở nên nghiêm trọng hơn khi các tác động của biến đổi khí hậu được dự đoán sẽ dẫn đến lượng mưa ít đi và nhiệt độ cao lên trên toàn khu vực Địa Trung Hải (Milano và cộng sự 2013).

3.5 Tác động của khai thác cát (Lưu vực sông Nilwala, Sri Lanka)



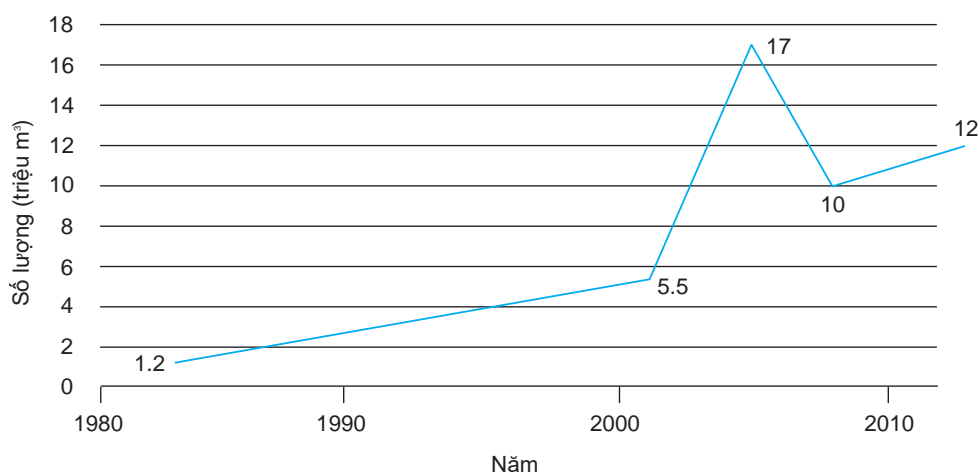
Bản đồ 3.5: Bản đồ vị trí Matara, Sri Lanka

Bối cảnh

Lưu lượng nước và hình thái học của sông là các yếu tố quan trọng kiểm soát độ mặn của nước tại các sông khu vực ven biển. Cả hai yếu tố đều bị ảnh hưởng bởi các quá trình tự nhiên, chẳng hạn như lượng mưa, quá trình bồi lắng và sạt lở; các hoạt động của con người, chẳng hạn như xây đập và hút bùn. Tại miền Nam Sri Lanka, hoạt động khai thác cát ở lòng sông tăng mạnh trong 25 năm qua (Hình 3.4). Nguyên nhân chính của nhu cầu cát tăng cao là do sự tăng trưởng kinh tế và tái kiến thiết sau thảm họa sóng thần năm 2004 (Pereira và Ratnayake 2013). Lòng sông Nilwala bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi hoạt động khai thác cát (Bản đồ 3.5). Từ năm 1997, hoạt động khai thác cát gia tăng đã làm cho lòng sông bị hạ thấp. Từ năm 2008, lòng sông Nilwala bị hạ thấp ở mức 4,5m dưới mực nước biển tại cửa sông gần Matara, và không đạt được bằng mực nước biển cho đến 28 km trên thượng lưu gần Akuressa. Kết quả là, nước biển có thể di chuyển lên thượng lưu trong mùa khô khi lưu lượng nước sông xuống thấp.

Các hậu quả

Nguồn cấp nước ăn uống sinh hoạt của Matara phụ thuộc vào các tầng chứa nước của đồng bằng. Tuy nhiên, trong 20 năm qua, độ mặn của nước đã tăng lên tại các giếng gần sông Nilwala. Kết quả là, giếng khai thác phải di chuyển lên phía thượng nguồn. Nếu trước đây các giếng khai thác lớn nằm cách bờ 8 km thì hiện nay tại Kadduwa (Bản đồ 3.5) là hơn 18km sâu vào đất liền (Pi-yadasa và Naverathna 2008). Nền nông nghiệp và các hệ sinh thái trong vùng cũng bị ảnh hưởng bởi độ mặn gia tăng của nước sông, chẳng hạn, báo cáo cho rằng có tới 5.000 ha đồng lúa bị bỏ hoang (Weerasekera 2014).



Hình 3.4: Ước tính lượng cát khai thác tại Sri Lanka theo đơn vị triệu mét khối

Những nỗ lực nhằm giảm hoạt động khai thác cát được thực hiện bởi Cơ quan Hợp tác về nước của Sri Lanka cùng các đối tác từ các học viện, hiệp hội dân sự và các tổ chức quốc tế. Cho dù đã có pháp chế để kiểm soát hoạt động khai thác cát nhưng sự tuân thủ còn rất thấp, tập trung chủ yếu vào hoạt động nâng cao nhận thức tại các cơ quan thực thi pháp luật chẳng hạn như cảnh sát và các cơ quan kiểm soát môi trường và ngành khai thác (Pereira và Ratnayake 2013).

4. Quản trị và quản lý nước dưới đất bền vững tại các đới ven biển

Từ những dẫn chứng trước đó có thể thấy rằng xâm nhập mặn từ nước biển là một thách thức lớn đối với việc quản lý nước dưới đất ở các đới ven biển. Đây là vấn đề không thể được giải quyết chỉ bằng các biện pháp can thiệp kỹ thuật. Chương này sẽ giải thích tại sao quản trị nước dưới đất tại chỗ lại có vai trò quan trọng trong thiết kế các giải pháp hiệu quả đối với các vấn đề xâm nhập mặn từ nước biển. Vai trò của quan trắc đối với quản lý nước dưới đất cũng sẽ được thảo luận.

4.1 Vấn đề nước dưới đất và quản trị nước dưới đất

Nguồn nước dưới đất - bất kể chúng nằm gần bờ biển hay trong đất liền – đều đặt ra một số thách thức quản trị chung có liên quan đến sự 'vô hình' của nước dưới đất. Quản lý nước dưới đất là một vấn đề cấp bách vì lượng mưa dự báo giảm và các hình thái dòng chảy mặt sẽ làm tăng sự phụ thuộc của các nền kinh tế và sinh kế vào nước dưới đất gần như trên toàn cầu. Thông thường, điều này dẫn đến áp lực ngày càng tăng lên nước dưới đất do khai thác quá mức và ô nhiễm. Khung hành động toàn cầu về quản trị nước dưới đất (FAO 2015) là một sáng kiến quốc tế chung của FAO trong dự báo toàn cầu về quản trị nước dưới đất đã chỉ ra 6 thiếu sót chính trong quản trị bao gồm:

- *Thiếu sự chỉ đạo của các cơ quan chính phủ*
- *Nhận thức hạn chế về các nguy cơ lâu dài đối với nước dưới đất*
- *Không xác định được hiện trạng của nguồn nước dưới đất*
- *Hệ thống pháp luật về nước dưới đất không được thực thi*
- *Không có sự tham gia đầy đủ của các bên liên quan trong quản lý nước dưới đất*
- *Tích hợp nước dưới đất vào các chính sách quốc gia liên quan còn hạn chế*

Ở nhiều khu vực, hoạt động xây dựng giếng và khai thác nước dưới đất trong nhiều thập kỷ được coi là hoạt động của doanh nghiệp tư nhân, việc khai thác tài nguyên của các cá nhân được thực hiện mà không xem xét và phối hợp với những người sử dụng khác (van Steenberghe và cộng sự, 2015). Nỗ lực cùng quản lý tài nguyên đòi hỏi những thay đổi không chỉ đối với các thủ tục hành chính mà còn từ nhận thức của người dân về nguồn tài nguyên này. Tuy nhiên, không giống như nước mặt, các quá trình của nước dưới đất khó quan sát và định lượng hơn. Đối với các khu vực ven biển, các quá trình thủy văn phức tạp tại ranh giới nước mặn/nước ngọt trở nên không dễ dàng hình dung đối với những người không có chuyên môn.

Định nghĩa về quản trị:¹

Xét theo khía cạnh học thuật, quản trị nước dưới đất mô tả tập hợp các quy tắc, tiêu chuẩn và thể chế chính thức và không chính thức chi phối sự phát triển và sử dụng nước dưới đất. Điều này bao gồm tất cả các cơ cấu và quy trình ra quyết định, lập kế hoạch và thực hiện quản lý và phát triển nước dưới đất được đặt ra cho một khu vực cụ thể. Do đó, quản trị nước dưới đất được

¹ Dựa vào các định nghĩa của OECD (<http://www.oecd.org/governance/oecd-principles-on-water-governance.htm>) và GWP (https://www.gwp.org/en/learn/iwrm-toolbox/About_IWRM_ToolBox/)

đàm phán (chính thức hoặc không chính thức) giữa các đối tượng liên quan khác nhau, và do đó được bao gồm trong các mối quan hệ quyền lực khu vực và địa phương. Quản trị tốt là một khái niệm có tính quy chuẩn. Nói chung, nó đề cập đến các hệ thống quản trị tập trung vào tính bền vững về kinh tế, sinh thái và xã hội dựa trên các quy trình ra quyết định và quản lý minh bạch, công bằng và cùng tham gia.

Khai thác quá mức nước dưới đất ở các đới ven biển có liên quan đến một tập hợp các quy trình tự nhiên và kinh tế xã hội bao gồm cả cung và cầu. Những khu vực có lưu lượng nước mặt thấp và khí hậu (bán) khô cần thường phụ thuộc vào nước dưới đất. Trữ lượng nước thấp thường bị trầm trọng hóa do biến đổi khí hậu và những thay đổi trong dài hạn, ô nhiễm nước dưới đất và những thay đổi về sử dụng đất. Thay đổi chế độ mưa và dòng chảy mặt khiến nước dưới đất được trở thành như một nguồn tài nguyên ưa thích vì nó được cho là có khả năng chống chịu tốt hơn với biến đổi khí hậu.

Nông nghiệp tưới tiêu là yếu tố chính dẫn tới khai thác quá mức nước dưới đất, cùng với sự tăng trưởng dân số, đô thị hoá nhanh chóng và các hoạt động kinh tế sử dụng nhiều nước như du lịch quy mô lớn. Hơn nữa, việc bảo vệ các hệ sinh thái phụ thuộc vào nước dưới đất đang ngày càng trở nên quan trọng không chỉ đối với việc bảo tồn đa dạng sinh học mà còn đối với các nền kinh tế địa phương, đặc biệt là nơi các hệ sinh thái có giá trị gia tăng (ví dụ như các điểm đến du lịch).

Việc khai thác quá mức nước dưới đất dẫn đến gia tăng xâm nhập mặn trong các tầng chứa nước ven biển không phải là vấn đề mới. Một số phương pháp quản lý đã được phát triển và thử nghiệm trên toàn thế giới (Chương 5) bao gồm kiểm soát khai thác nước dưới đất cũng như các biện pháp kỹ thuật như xây dựng tường chắn và bổ cập nhân tạo. Đánh giá các phương pháp quản lý cho thấy hiệu quả của chúng “phụ thuộc phổ biến vào mức độ tuân thủ pháp luật, các công cụ chính sách và xung đột giữa người quản lý và người sử dụng nước dưới đất” (Werner và cộng sự, 2011: 1838). Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của cấu trúc và các quy trình quản trị tốt cho phép thực hiện chính sách quản lý bền vững đối với các tầng chứa nước ven biển. Một số đới ven biển đã đạt được những tiến bộ quan trọng bằng cách cải cách luật pháp và các biện pháp hành chính trong quản trị nước, trong khi ở nhiều nơi khác quá trình thiết lập một kế hoạch hành động hiệu quả vẫn đang được tiến hành.

4.2 Các vấn đề trong quản trị nước dưới đất vùng ven biển

Một số nghiên cứu đã xác định được các vấn đề trong quản trị nước dưới đất của các tầng chứa nước ven biển ở các vùng với bối cảnh phát triển khác nhau (Bảng 4.1). Ở đông nam Tây Ban Nha, các tầng chứa nước ven biển đóng vai trò rất quan trọng trong phát triển nông nghiệp thâm canh phục vụ thị trường châu Âu. Nhu cầu ngày càng tăng cộng với tác động của biến đổi khí hậu đã gây ra tình trạng khai thác quá mức và xâm nhập mặn xảy ra ở nhiều tầng chứa nước trong khu vực. Một trong số những nỗ lực nhằm giảm bớt tình trạng khai thác nước dưới đất là phát triển các nguồn nước thay thế thông qua giải pháp khử mặn và chuyển nước liên lưu vực. Tuy nhiên, nông dân vẫn thích sử dụng nước dưới đất vì chi phí thấp hơn. Thay đổi sang nguồn nước thay thế thường đòi hỏi đầu tư lớn vào mạng lưới phân phối nước của nông trại (Custodio và cộng sự, 2016).

Bảng 4.1 Tóm tắt các vấn đề về quản trị phát hiện được tại 3 vùng thảo luận trong chương này.

<p>SE- Tây Ban Nha (Custodio và cộng sự, 2016)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Quan trắc, kiểm soát và các biện pháp hành chính không đầy đủ – Thiếu các nghiên cứu chi tiết – Các công cụ pháp lý để phân bổ quyền lợi về nước thiếu linh hoạt và khó khăn để sắp xếp chúng với các lợi ích xã hội và các giá trị chung – Không xem xét và thúc đẩy sự tham gia của người sử dụng nước một cách đầy đủ – Sự quá mức của chủ nghĩa gia trưởng trong các tổ chức chính phủ – Thiếu ý chí chính trị
<p>Đông phi (Comte và cộng sự, 2016)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Sự tham gia của các bên liên quan của địa phương và kiến thức về khu vực còn hạn chế – Thiếu thông tin nước dưới đất tập trung – Các dự án phát triển không xem xét các điều kiện của địa phương – Sự lệch pha giữa các tiêu chí quản lý và tiêu chí kỹ thuật
<p>Duyên hải California (Brown và cộng sự, 2016, Nelson 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Sự tham gia của các nhóm yếu thế và thiệt thòi trong việc ra quyết định về nước dưới đất còn hạn chế do thiếu niềm tin, kiến thức và / hoặc nguồn lực – Quá trình ra quyết định liên quan đến nước dưới đất không công bằng – Các cơ quan về nước coi mình là nhà cung cấp chứ không phải là người quản lý – Phụ thuộc nhiều vào các phương pháp kiểm soát khai thác không trong quy phạm.

Một nghiên cứu về các tầng chứa nước ven biển của ba nước Đông Phi (Comte và cộng sự, 2016) - Quần đảo Comoros, Kenya và Tanzania - cho thấy những thách thức trong quản lý nước dưới đất hiệu quả với sự phát triển của giếng khai thác được điều chỉnh theo các điều kiện thủy văn cụ thể của các tầng chứa nước ven biển tương ứng. Các dự án của các tổ chức phát triển quốc tế đã hỗ trợ phát triển nước dưới đất ở cả ba khu vực. Trong mọi trường hợp, các lỗ khoan sâu với sản lượng khai thác cao thường được ưu tiên xây dựng. Người ta cho rằng các giếng này sẽ được quản lý hiệu quả hơn thông qua kinh tế quy mô so với mô hình các giếng nông có đường kính lớn truyền thống. Tuy nhiên, trong dài hạn các giếng sâu sẽ làm cho độ mặn tăng cao hơn. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự phát triển nhu cầu về nước dưới đất các vùng ven biển cần phải tính đến các điều kiện địa chất thủy văn của khu vực và cần có các kế hoạch quản trị hợp tác cụ thể để có thể điều phối và quản lý nhiều giếng.

Ở vùng duyên hải California, sự tham gia của nhiều bên liên quan trong việc ra quyết định là một yếu tố quan trọng trong quản trị nước dưới đất bền vững theo yêu cầu của Đạo Luật quản lý nước dưới đất bền vững năm 2014 (Brown và cộng sự, 2016). Tuy nhiên, trên thực tế, các rào cản kinh tế, xã hội và văn hóa quyết định sự tham gia của các bên liên quan khác nhau. Nghiên cứu của Nelson (2012) đã xác định (a) kiến thức nền tảng kỹ thuật hạn chế, (b) ít niềm tin vào những người thực thi quyền lực đại diện tại các diễn đàn đa bên và (c) tài nguyên hạn chế (ví dụ về thời gian và tiền bạc) để tham gia vào cuộc họp là những trở ngại cho sự tham gia tích cực của các nhóm liên quan yếu thế (ví dụ như các tiểu chủ, công nhân nông trường).

Một yếu tố chung trong tất cả các nghiên cứu đó là có một khoảng cách đáng kể tồn tại giữa khung pháp lý, các yêu cầu của pháp luật và việc thực hiện chúng. Cần phải có sự hiểu biết ngày càng tăng về những yếu tố thực sự chi phối việc giải quyết vấn đề về nước dưới đất ven biển để có thể thu hẹp khoảng cách này.

4.3 Hiểu về các tác nhân trong quản trị nước dưới đất ven biển

Mỗi đới ven biển có những đặc điểm riêng khi đề cập đến các tác nhân liên quan quan tâm đến quản lý tầng chứa nước ven biển. Bảng 4.2 đưa ra một cái nhìn tổng quan về các tác nhân thường xuyên tham gia vào quản trị nước dưới đất ven biển.

Sự đa dạng của các tác nhân này tạo thêm các thách thức trong quản lý các quá trình môi trường, xã hội, kinh tế và chính trị của một khu vực. Ngoài ra, nhiều nền kinh tế ven biển ngày càng trở thành một phần của hệ thống toàn cầu hoá, xác định các cơ hội và thách thức vượt xa tầm ảnh hưởng của việc ra quyết định trong khu vực. Ví dụ, việc sử dụng nước dưới đất của nông nghiệp định hướng xuất khẩu phụ thuộc vào thị trường toàn cầu, như trong trường hợp của vùng Souss-Massa ở Ma rốc (Phần 3.2). Giá cả và nhu cầu của các thị trường này thường là các biến quan trọng trong việc ra quyết định của nông dân, điều này gây ra nhiều hệ lụy đối với công tác quản lý nguồn nước.

Cấp nước và sử dụng nước	<p>Nhà cung cấp nước uống</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cơ sở lớn - Cấp nước sinh hoạt (phân cấp) - Xử lý / tái sử dụng nước - Cơ sở xử lý nước thải - Nhà máy khử mặn - Các nhóm người sử dụng nước - Các nhóm người dùng nước sinh hoạt - Người tiêu dùng thương mại lớn (ví dụ: du lịch) - Người sử dụng nước công nghiệp - Nông nghiệp - Trang trại lớn - Tiểu chủ
Quản trị công	<p>Đô thị</p> <ul style="list-style-type: none"> - Các dịch vụ công cộng - Bảo vệ môi trường - Cơ sở y tế - Quản lý sử dụng đất - Các cơ quan vùng - Quản lý hành chính theo khu vực - Cơ quan quản lý nguồn nước - Dịch vụ nông nghiệp - Cơ quan quốc gia - Cơ quan quản lý nước quốc gia - Cơ quan thẩm quyền quản lý - Các bộ ngành
Chính trị và các nhóm lợi ích	<p>Hội đồng và nghị viện (cơ quan lập pháp)</p> <p>Các đảng chính trị và chính trị gia</p> <p>Các nhóm lợi ích</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hiệp hội doanh nghiệp - Câu lạc bộ nông dân - Đoàn thể - Các tổ chức bảo vệ môi trường
Các tổ chức tài chính	<p>Quý tín thác và quỹ công</p> <p>Cơ quan phát triển và ngân hàng</p> <p>Nhà đầu tư tư nhân và các tổ chức tài chính</p>
Các tổ chức khác	<p>Các trường đại học</p> <p>Tư vấn - kinh doanh</p> <p>Các công ty khoan và xây dựng giếng</p> <p>Các tổ chức quốc tế</p>

Bảng 4.2: Ví dụ về các nhóm tác nhân có liên quan trong nước dưới đất ven biển

4.4 Hướng tới một hệ thống quản trị phát triển nước dưới đất ven biển bền vững

Khung hành động toàn cầu về quản trị nước dưới đất (FAO 2015) đã tóm tắt 5 nguyên tắc cơ bản sau đây để quản lý nước dưới đất bền vững:

1. *Quản lý chung nguồn nước dưới đất và các nguồn nước khác để đảm bảo an ninh nguồn nước và sức khỏe hệ sinh thái*
2. *Quản lý có liên kết giữa nước dưới đất và tài nguyên đất*
3. *Đồng quản trị không gian dưới bề mặt (ví dụ: khai thác, cơ sở hạ tầng)*
4. *Tích hợp ngành dọc giữa cấp địa phương và cấp quốc gia*
5. *Phối hợp với các chính sách vĩ mô từ các ngành khác*

Một hệ thống quản trị đảm bảo rằng tất cả các nguyên tắc này có thể được thực hiện, không phải ngay lập tức, mà là một quá trình lâu dài và cần được điều chỉnh liên tục để phù hợp với các điều kiện cụ thể của từng khu vực ven biển.

Gắn kết các đối tượng có lợi ích khác nhau, đôi khi mâu thuẫn nhau là cả một nghệ thuật. Có nhiều tổ chức đã xây dựng các hướng dẫn và bài học kinh nghiệm giúp thúc đẩy sự tham gia của các bên liên quan (ví dụ: Ngân hàng Thế giới 2003). Phương pháp tiếp cận giúp đưa tàu đi đúng hướng, cũng như học hỏi từ các thực hành tốt nhất, sẽ được thảo luận trong phần dưới đây.

Coi nước dưới đất như một nguồn tài nguyên công cộng cùng chia sẻ

Định nghĩa về nước dưới đất như một nguồn tài nguyên công cộng là nguyên tắc cơ bản của quản trị nước dưới đất bền vững. Nó quan trọng theo hai cách: trong thực hành pháp lý và trong nhận thức của người dân. Quyền sở hữu tư nhân đối với nước dưới đất là một trở ngại lớn trong quản lý bền vững nước dưới đất với tư cách là một nguồn tài nguyên chung (Mechlem 2016: 3). Mặc dù tại một số quốc gia nước dưới đất vẫn được coi là một nguồn tài nguyên tư nhân gắn liền với quyền sở hữu đất, việc nhượng quyền sử dụng nước dưới đất ngày càng trở thành một thực hành phổ biến. Những thay đổi trong hệ thống lập pháp đòi hỏi nhiều thời gian và quyết tâm. Hơn nữa, ngay cả khi những thay đổi pháp lý xảy ra thì việc người dân nhận thức về nguồn nước dưới đất ven biển như một nguồn tài nguyên dễ bị tổn thương, về lâu dài, vẫn là yếu tố quan trọng trong thực hiện sử dụng và quản lý nước dưới đất bền vững. Mặc dù việc thay đổi “mô hình nước” của một vùng là một nỗ lực phức hợp, vẫn có một số trường hợp thành công (xem ô bên phải).

Almeria, Tây Ban Nha: Nâng cao nhận thức về bảo vệ nước dưới đất

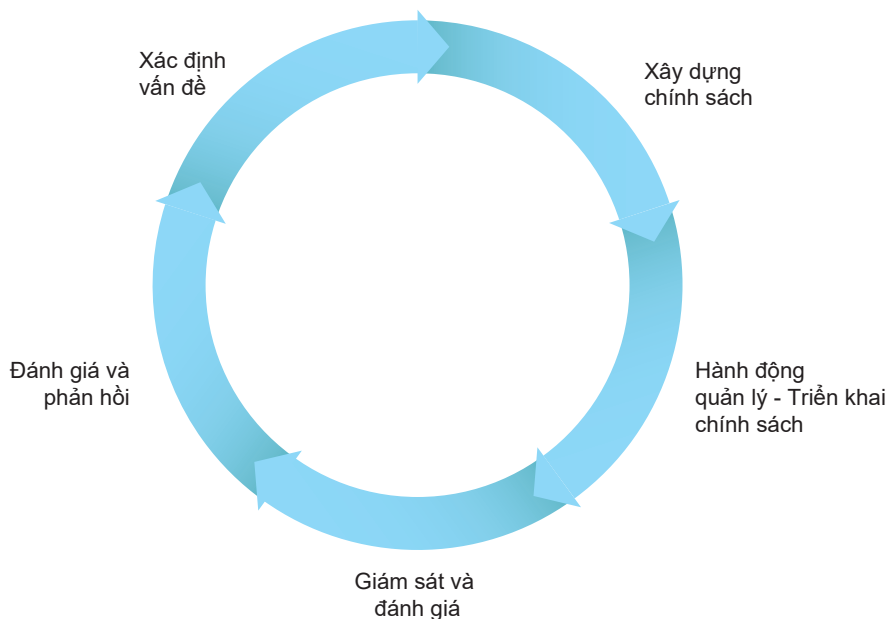
Chương trình Acuíferos del Poniente (tầng chứa nước Poniente) đã tồn tại ở vùng duyên hải đông nam Almeria, Tây Ban Nha từ năm 2008 đến năm 2012. Chương trình là sự kết hợp của Hội đồng nước vùng Andalucía, Công ty đại chúng ACUAMED phụ trách cơ sở hạ tầng thủy lực của Tây Ban Nha, Viện địa chất và khai thác mỏ quốc gia và hiệp hội người sử dụng nước dưới đất của vùng. Mục tiêu của chương trình là hỗ trợ quản lý bền vững các tầng chứa nước. Để đạt được mục tiêu này, chương trình thúc đẩy việc giảm khai thác nước dưới đất từ các tầng chứa nước sâu ven biển và bù lại bằng các nguồn nước thay thế cũng như tăng cường khai thác từ các tầng chứa nước nông trong vùng. Một phần của chương trình bao gồm chiến dịch phổ biến thông tin về nước dưới đất ở các cấp khác nhau nhằm nâng cao nhận thức về sự nghiêm trọng của hiện trạng tài nguyên nước của khu vực. Chiến dịch tập trung vào ba nhóm đối tượng. Đối với nhóm các chuyên gia và người có thẩm quyền ra quyết định trong lĩnh vực nông nghiệp, các vấn đề và tác động của hoạt động khai thác quá mức nước dưới đất được trình bày tại các hội chợ thương mại của vùng. Chủ đề này cũng được đưa vào chương trình giảng dạy tại các cơ sở đào tạo về nông nghiệp. Nhóm thứ hai tập trung vào ngành giáo dục: chương trình – với sự phối hợp của cơ quan giáo dục khu vực – đã phát triển các tài liệu giáo khoa được sử dụng trong các trường tiểu học và trung học. Giáo viên được đào tạo để lồng ghép chủ đề này vào chương trình giảng dạy của họ. Nhóm đối tượng thứ ba của chiến dịch nhằm vào đại chúng: một cuộc triển lãm về hiện trạng của nước dưới đất và các thách thức được thực hiện tại các thị trấn trong khu vực. Các triển lãm được quảng bá rộng rãi trên các phương tiện thông tin đại chúng, đi kèm với các cuộc tọa đàm mở rộng với các bên liên quan tại địa phương. Tổng cộng có khoảng 20.000 người tham gia vào các hoạt động nâng cao nhận thức của chương trình. Sự tham gia của đông đảo các đối tượng vào chương trình là bước quan trọng khởi đầu cho những thay đổi trong thái độ của người sử dụng nước đối với quản lý nước dưới đất bền vững.

Nguồn: Agencia Andaluza del Agua (2009)

Quản trị thích ứng và có sự tham gia

Một bài học lớn được rút ra từ thảo luận về quản lý nước (dưới đất) là các phương pháp tiếp cận mệnh lệnh-và-kiểm soát truyền thống do các chuyên gia kỹ thuật bên ngoài quy định thường không giải quyết được các vấn đề phức tạp của nước dưới đất như khai thác quá mức và xâm nhập mặn. Đặc biệt những biện pháp yêu cầu những người trong cuộc thay đổi thực hành của họ - chẳng hạn nông dân giảm lượng khai thác - sẽ hầu như không có tác dụng nếu các bên liên quan không có quyền sở hữu đối với các quy tắc đặt ra. Do đó, các phương pháp tiếp cận tích hợp và có sự tham gia là phương pháp hiện đại trong quản lý nước dưới đất như được trình bày trong các nguyên tắc và hướng dẫn quốc tế, chẳng hạn trong Chỉ thị Khung về nước của châu Âu hoặc các Nguyên tắc OECD về Quản trị Nguồn nước. Quản lý thích ứng là một quy trình khép kín (Hình 4.1), trong đó các chính sách và các biện pháp quản lý được liên tục sửa đổi và điều chỉnh để phù hợp với những bất chắc và sự thay đổi liên tục của các điều kiện (Pahl-Wostl và cộng sự, 2007). Việc xác định vấn đề, thiết kế và sửa đổi các chính sách và quyết định để giải quyết vấn đề là một phần của quá trình chung với sự tham gia của tất cả các bên liên quan. Mục tiêu chính của quá trình này không chỉ nhằm nâng cao chất lượng của các quyết định mà còn là sự chấp nhận và thực hiện chúng. Một khía cạnh khác của sự tham gia là quá trình học tập xã hội cũng được tạo điều kiện thông qua những trao đổi giữa những người trong cuộc với các góc độ khác nhau. Học tập xã hội xây dựng dựa trên trên cái nhìn sâu sắc từ bên trong rằng toàn bộ tập hợp các quan điểm từ các góc độ khác nhau sẽ lớn hơn tổng các bộ phận của nó.

Hình 4.1: Quy trình khép kín trong quá trình quản lý thích ứng (Pahl-Wostl và cộng sự, 2007)



Oman: Quản lý nhu cầu nước dưới đất thông qua cung cấp năng lượng trả trước

Khu vực ven biển Batinah của Oman chiếm khoảng 53% (74.000 ha) đất nông nghiệp được tưới tiêu bằng nước dưới đất của nước này. Nước tưới được bơm từ khoảng 100.000 giếng, trong đó 74% chạy bằng điện. Các tầng chứa nước của khu vực hiện đang chịu áp lực nghiêm trọng do khai thác vượt quá sản lượng an toàn và xâm nhập mặn xảy ra tại nhiều khu vực khác nhau. Chính phủ Oman đưa ra một số biện pháp để bảo vệ tầng chứa nước và điều chỉnh việc sử dụng nước dưới đất, bao gồm khoanh định các đới bảo vệ, hạn chế khoan và khai thác. Pháp luật cũng đưa ra các quy định xử phạt và biểu phí. Để giảm lưu lượng khai thác của các giếng này, chính quyền đã phân bổ hạn mức khai thác đối với mỗi trang trại dựa trên diện tích đất tưới tiêu. Vì việc đo đạc lượng khai thác trực tiếp khá đắt đỏ, chính phủ đã thiết kế ra một hệ thống kiểm soát tiêu thụ năng lượng dùng trong bơm hút nước thông qua hệ thống cung cấp năng lượng trả trước.

Vì mục đích này, hạn mức nước được chuyển thành năng lượng bơm tương đương, có tính đến độ sâu giếng và công suất của máy bơm. Đồng hồ đo năng lượng tiêu thụ trả trước sẽ ngừng hoạt động khi lượng khai thác vượt mức phân bổ. Để tránh sự căng thẳng về nước, đồng hồ sẽ đưa ra cảnh báo khi tài khoản về mức thấp và mức khẩn cấp. Cách tiếp cận dựa trên hạn mức cho phép nông dân có thể bán hoặc mua hạn mức, giúp tăng cường tưới tiêu tiết kiệm và tạo sự linh hoạt cho các trang trại lớn hơn.

Cơ sở dữ liệu trung tâm của hệ thống sẽ lưu trữ hạn mức nước và năng lượng cũng như thông tin về quy mô trang trại và loại cây trồng. Trước khi tưới, nông dân phải nạp phí năng lượng của mình để kích hoạt đồng hồ năng lượng thông minh kết nối với máy bơm. Việc nạp phí năng lượng có thể được thực hiện thông qua một công cụ trực tuyến hoặc điện thoại di động. Trong quá trình mua, hệ thống sẽ kiểm tra tài khoản năng lượng của nông dân để biết hạn mức năng lượng còn lại và số dư tài khoản ngân hàng xem có đủ hay không. Hệ thống cũng có thể tạo ra cảnh báo trong trường hợp tỷ lệ tiêu thụ quá cao hoặc quá thấp.

Cách tiếp cận này đã được thử nghiệm trong một nghiên cứu thực địa với 40 hộ sử dụng nước. Yếu tố quan trọng tạo nên sự thành công, chấp nhận hạn mức nước và năng lượng là sự hợp tác và tham gia tích cực của các bên liên quan, chủ yếu là nông dân, trong quá trình này. Điều này bao gồm việc giải thích công thức phân bổ hạn mức và chi tiết kỹ thuật của các thủ tục thanh toán.

Nguồn: Zekri (2009)

Quản lý thích ứng đặc biệt phù hợp với bối cảnh của các tầng chứa nước ven biển do các quá trình xâm nhập mặn của nước biển thường diễn ra chậm chạp, khó dự báo và ảnh hưởng đến nhiều tác nhân ở các đới ven biển. Tuy nhiên, để thành công, phương pháp tiếp cận có sự tham gia phải được chấp nhận bởi những người trong cuộc và được đưa vào các thể chế chính sách của các cơ quan có thẩm quyền. Các khái niệm về quản trị nước dưới đất cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của công tác “xã hội hóa” nước dưới đất giữa các bên liên quan (Moench và cộng sự, 2015). Quá trình này hoạt động theo hai hướng. Trong đó, các nhà quản lý cố gắng đạt được một sự hiểu biết chung với người sử dụng nước về các tác động lâu dài của khai thác quá mức nước dưới đất và đe dọa xâm nhập mặn. Điều này nhằm nâng cao nhận thức về tính dễ bị tổn thương của tài nguyên nước dưới đất và thúc đẩy nhận thức rằng việc tuân thủ các kế hoạch và nguyên tắc quản lý nước dưới đất bền vững là vì lợi ích của chính người sử dụng. Ngoài ra, các nhà quản lý nước dưới đất cũng có thể được hưởng lợi từ sự hiểu biết ngày càng tăng về các phương tiện liên quan của nước dưới đất đối với các hoạt động kinh tế và sinh kế của người sử dụng nước dưới đất. Bằng cách tập trung hơn vào các mục tiêu sử dụng nước dưới đất về các kết quả sản xuất (Moench và cộng sự, 2015: 25), các cách thức mới và độc đáo để quản lý khai thác quá mức tầng chứa nước trở nên khả thi. Ví dụ, một cách tiếp cận quản lý tài nguyên nước toàn diện có thể hỗ trợ nông dân trong việc tìm kiếm cách thức để đối phó với thiệt hại của cây trồng do không được bơm nước từ tầng chứa nước trong mùa khô. Các ví dụ khác về cơ chế hỗ trợ bao gồm các thị trường kinh doanh nước chính thức và không chính thức, các chương trình bảo hiểm mùa màng và hạn hán, hoặc thực phẩm cho các chương trình-công tác (Moench và cộng sự, 2015).

4.5 Giám sát các tầng chứa nước ven biển - nền tảng của quản lý và quản trị

Quản trị tốt tạo thành môi trường thuận lợi cho việc quản lý chặt chẽ và thích hợp nguồn nước dưới đất ven biển. Cơ sở của một hệ thống quản lý như vậy bao gồm kiến thức về những gì đang quản lý, bao gồm dữ liệu tĩnh, như tính chất của tầng chứa nước và dữ liệu động như bổ cập nước dưới đất và lưu lượng khai thác. Một hệ thống quan trắc được thiết kế tốt và một bộ cơ sở dữ liệu là điều kiện tiên quyết để thực thi các công cụ quản lý như cấp giấy phép cho giếng và cấp giấy phép khai thác.

Dữ liệu thể hiện tình trạng của nguồn nước dưới đất bao gồm dữ liệu đo mực nước, độ mặn và thành phần hóa học của nước dưới đất. Để đo được mực nước và lấy mẫu phân tích thành phần hóa học của nước cần một mạng lưới các giếng quan trắc và, vì chúng cung cấp sự tiếp cận trực tiếp tới nước dưới đất, những nỗ lực giám sát này được gọi là các phương pháp trực tiếp. Dữ liệu độ mặn cũng có thể được suy ra từ các phép đo địa vật lý được thực hiện trên bề mặt đất hoặc từ trên trời, chúng được gọi là các phương pháp gián tiếp. Phương pháp hoặc sự kết hợp của các phương pháp nào được lựa chọn để áp dụng cho một khu vực sẽ phụ thuộc vào điều kiện của địa phương như địa chất, động thái của các quá trình dòng chảy nước dưới đất (ví dụ: các biến đổi trong bổ cập, dao động thủy triều, khai thác), quy mô của hệ thống (độ sâu và phạm vi địa lý) cũng như phân bố của độ mặn.

Đối với tầng chứa nước gần bề mặt nhận được lượng bổ cập từ nước mưa, hồ sơ khí tượng về mưa và bốc hơi cung cấp thông tin cơ bản để suy ra tỷ lệ bổ cập. Tuy nhiên, dòng chảy ở các khu vực ven biển có thể phức tạp và việc bổ cập vào tầng chứa nước có thể xuất phát từ các nguồn khác ngoài nước mưa, chẳng hạn như từ nước sông, hoặc dòng chảy lên từ tầng chứa nước sâu hơn. Do đó, việc đánh giá tổng hợp các thành phần dòng chảy là yêu cầu đầu tiên để đánh giá các quá trình xâm nhập mặn.

Ở những khu vực có nước dưới đất bị khai thác, suy giảm mực nước là dấu hiệu đầu tiên về nguy cơ xâm nhập mặn. Nước biển có thể đã bắt đầu chảy về phía giếng trước khi mực nước hạ thấp xuống dưới mực nước biển, vì nước biển có mật độ cao hơn nước dưới đất nhạt. Do đó, chỉ có số liệu mực nước thì không đủ để đánh giá nguy cơ xâm nhập mặn, việc giám sát độ mặn gần các giếng bơm phải luôn được thực hiện.

4.5.1 Độ mặn

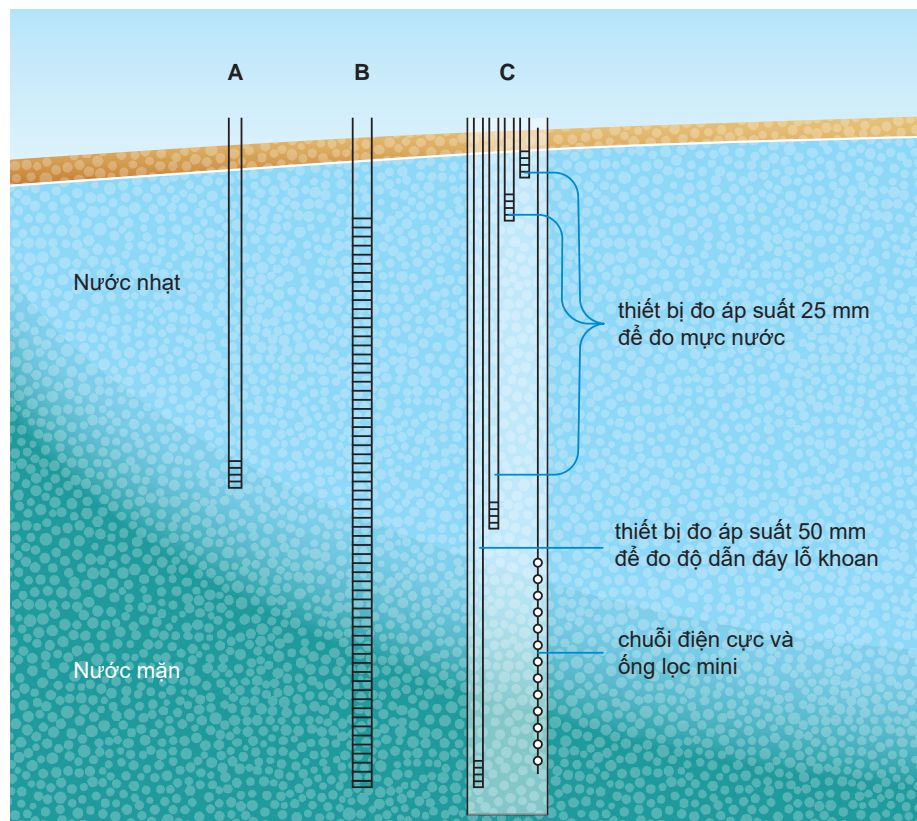
Độ mặn có thể được suy ra từ các phép đo độ dẫn điện của nước dưới đất. Điều này là do độ mặn của nước càng cao, nước càng có khả năng dẫn điện cao. Vì độ dẫn điện tương đối dễ đo, ví dụ thông qua các thiết bị cầm tay, nên đây là phương pháp nhanh chóng và hiệu quả để xác định những thay đổi về độ mặn theo không gian và thời gian. Độ dẫn điện của nước biển cao hơn nhiều so với nước dưới đất nhạt nên xâm nhập mặn từ nước biển có thể dễ nhận biết do sự gia tăng đáng kể của các giá trị dẫn điện. Nồng độ clorua hòa tan (Cl⁻) cũng là một chỉ số mạnh mẽ để phát hiện sự xâm nhập mặn từ nước biển do nồng độ của nó trong nước biển cao hơn nhiều lần so với trong nước nhạt. Tuy nhiên, không giống như độ dẫn điện, nó không thể được đo một cách dễ dàng tại hiện trường mà cần phải gửi mẫu nước đến các phòng thí nghiệm để đo.

Các phương pháp địa vật lý rất phù hợp để cung cấp cái nhìn tổng quan về sự thay đổi về mặt không gian của độ mặn nước dưới đất. Hiện có nhiều kỹ thuật khác nhau, các công cụ có thể được vận hành ở trên mặt đất, trên biển hoặc từ trên không (Hình 2.8). Nguyên tắc của phương pháp này là điện trường hoặc từ trường đo được bị ảnh hưởng bởi các tính chất dẫn điện của các lớp dưới bề mặt trong đó có sự đóng góp mạnh mẽ của độ mặn nước dưới đất. Tuy nhiên, nó cũng bị ảnh hưởng một phần bởi lớp đất đá, và do đó, độ dẫn điện (hoặc ngược lại, điện trở suất) không dễ dàng chuyển đổi thành giá trị độ mặn của nước dưới đất. Mặc dù có những hạn chế như vậy, các phương pháp địa vật lý vẫn được sử dụng thường xuyên trong hoạt động điều tra các tầng chứa nước ven biển.

4.5.2 Giếng quan trắc “lý tưởng”

Sự phân bố mặn có thể thay đổi trong khoảng cách ngắn, cả theo chiều ngang lẫn chiều dọc. Các tầng chứa nước gần bờ biển có thể được đặc trưng bởi sự thay đổi độ mặn theo chiều sâu (Hình 4.2) và một giếng duy nhất để mô tả sự phân bố độ mặn là không đủ. Thay vào đó, cần phải có một vài giếng quan

Hình 4.2 Mặt cắt dưới dạng giản đồ của một tầng chứa nước ven biển với 3 thiết kế giếng quan trắc khác nhau. (A) giếng đơn với ống lọc giếng ngắn trong đới nước nhạt, (B) giếng đơn với ống lọc giếng dài trong đới chuyển tiếp; (C) giếng quan trắc đa mức phức hợp với hệ thống điện cực (Kamps và cộng sự 2016).

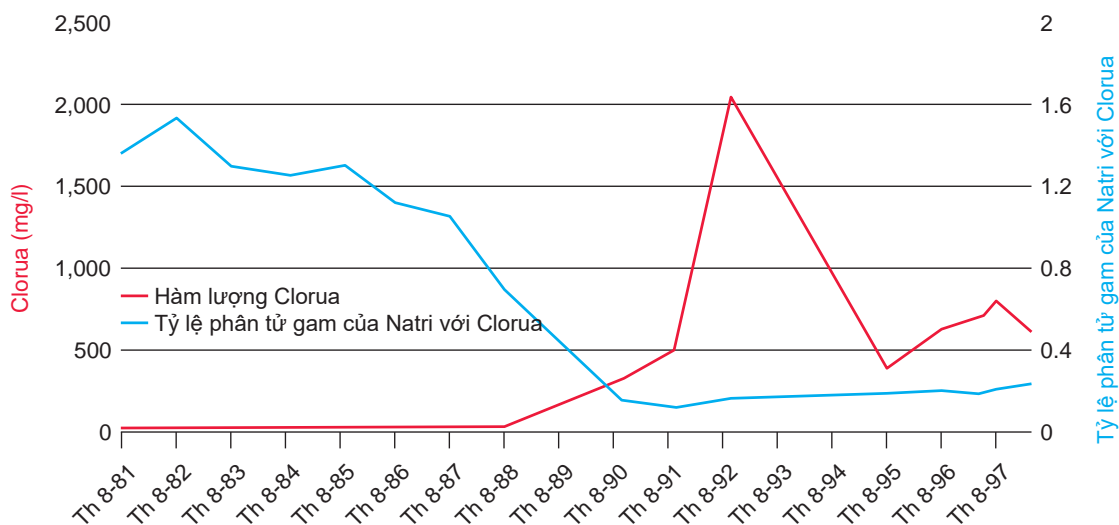


trắc để cung cấp thông tin về độ mặn của nước dưới đất theo chiều sâu. Điều này làm gia tăng chi phí cho hoạt động điều tra. Tuy nhiên, thông tin này là không thể thiếu, vì việc giám sát ở độ sâu không đúng sẽ dẫn đến xâm nhập mặn không được phát hiện. Giếng có ống lọc dài (vài mét hoặc hơn) đôi khi được sử dụng để điều tra các đặc điểm của vùng giao thoa nước nhạt – nước mặn, nhưng nên tránh sử dụng chúng vì dòng nước chảy qua lỗ khoan làm gián đoạn các điều kiện tự nhiên trong tầng chứa nước và có thể dẫn đến nhiễm mặn cục bộ tại các thấu kính nước nhạt.

Thay vào đó, các ống lọc giếng ngắn được ưa thích hơn và có thể được lắp đặt trong cùng một lỗ khoan với điều kiện trám lấp hiệu quả được sử dụng để ngăn chặn sự nhiễm bẩn chéo vào lỗ khoan, hoặc ngay trong lỗ khoan. Cấu trúc giếng C trong Hình 4.2 là một ví dụ về một trong những hệ thống quan trắc tiên tiến nhất được sử dụng bởi Công ty Cấp nước Amsterdam (Water-net) tại Hà Lan. Nó có 3 máy đo áp suất và 13 ống lọc mini đặt gần nhau và các điện cực với vị trí của vùng chuyển tiếp có thể được xác định rất chính xác. Các thiết kế giếng tinh vi như trong ví dụ này có thể không khả thi ở mọi nơi. Tuy nhiên, nó cho thấy tầm quan trọng của việc tính đến sự phụ thuộc theo chiều dọc của độ mặn. FAO (1997) đã đưa ra một Hướng dẫn tốt về xây dựng kế hoạch giám sát tầng chứa nước ven biển

4.5.3 Hóa học nước

Một phân tích toàn diện về thành phần hóa học của nước có thể tiết lộ thông tin quan trọng về tiến trình xâm nhập mặn. Ví dụ, khi nước biển thay thế nước nhạt trong tầng chứa nước, cations sẽ được trao đổi giữa các hạt rắn và nước. Clorua (anion) trong hỗn hợp nước mặn-nước nhạt không bị ảnh hưởng. Ngay cả khi một phần nhỏ (<1%) nước biển trộn lẫn với nước nhạt thì natri (Na⁺) sẽ được trao đổi với các ion khác như canxi (Ca²⁺). Điều này có nghĩa là trước khi xâm nhập mặn trở nên rõ ràng với độ mặn tăng đáng kể, tỷ lệ Na / Cl sẽ bắt đầu giảm mạnh (Hình 4.3). Do đó, tỷ lệ này có thể được sử dụng như một chỉ số cảnh báo sớm về sự xâm nhập của nước biển. Mặc dù vậy, cần phải cân nhắc thận trọng vì các quá trình thủy hóa khác cũng có thể gây ra sự thay đổi tỷ lệ ion.



Hình 4.3: Biểu đồ thể hiện sự thay đổi nồng độ clorua và tỷ lệ Na / Cl của một giếng bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn ở California, Hoa Kỳ (HydroMetrics 2008).

Phân tích hóa học toàn diện cũng hỗ trợ trong việc xác định nguồn gốc của nước dưới đất mặn. Nguồn muối hòa tan trong nước dưới đất không phải lúc nào cũng là nước biển và việc diễn giải có thể không rõ ràng nếu có sự có mặt của các nguồn khác. Chúng có thể bao gồm:

- Nước biển cổ bị mắc kẹt trong các phần ứ đọng của hệ thống nước dưới đất
- Bụi nước biển và bụi khí quyển
- Đá Evaporite
- Dòng chảy thủy lợi ngược
- Nguồn nhân tạo

Một lượng lớn các chất hóa học trong nước dưới đất có thể được sử dụng để xác định nguồn nhiễm mặn. Các đồng vị của nước và các chất hòa tan của nó cũng có thể đóng góp và cung cấp thông tin về tuổi của nước dưới đất. Ở những khu vực có lịch sử địa chất phức tạp, việc hiểu về các quá trình gây ra mặn hóa có thể là một thách thức.

5. Chiến lược và giải pháp

Chương này trình bày các ví dụ về các chiến lược quản lý nước dưới đất được chứng minh là có hiệu quả trong việc ngăn chặn và kiểm soát xâm nhập mặn của nước biển. Chúng tập trung vào tầng chứa nước, nhưng cũng coi nước dưới đất là một phần không thể thiếu trong quản lý tài nguyên nước ven biển. Vì các điều kiện ở mỗi đới ven biển khác nhau nên bắt buộc phải có các giải pháp cụ thể cho từng khu vực.

Các phương pháp quản lý được mô tả trong chương này có thể được phân thành bốn loại khác nhau:

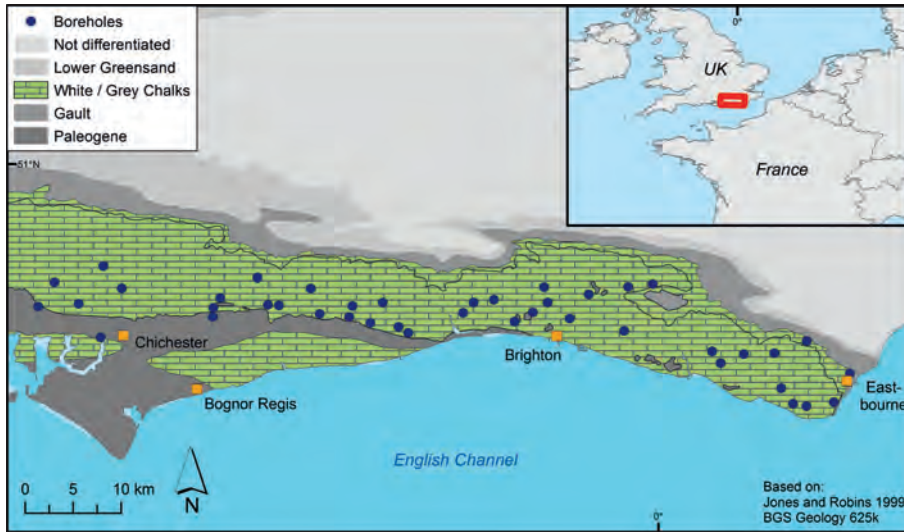
- *Các phương pháp khai thác nước dưới đất tối ưu (Phần 5.1)*
- *Phương pháp kiểm soát nhu cầu (Phần 5.2)*
- *Các phương pháp bổ cập tầng chứa nước tăng cường (Phần 5.3)*
- *Phương pháp tiếp cận kỹ thuật (Phần 5.4)*

Tất cả các chiến lược đưa ra trong chương này được minh họa bằng các trường hợp được lựa chọn từ các đới ven biển khác nhau trên thế giới. Đối với từng trường hợp, bản chất của vấn đề, công nghệ và việc thực hiện biện pháp kiểm soát sẽ được mô tả.

5.1 Phương pháp khai thác nước dưới đất tối ưu

Phần này trình bày hai trường hợp minh họa vai trò của các chiến lược quản lý khai thác để ngăn chặn sự xâm nhập của nước biển. Những điều này đòi hỏi kiến thức chi tiết về hệ thống nước dưới đất và sự hiểu biết về động thái của đới chuyển tiếp giữa nước biển và nước ngọt. Các ví dụ nhấn mạnh tầm quan trọng của các mạng quan trắc được thiết kế tốt cung cấp các dữ liệu cần thiết để định lượng các mối quan hệ giữa tỷ lệ bổ cập nước dưới đất, quá trình khai thác và xâm nhập mặn. Trường hợp của South Downs tại Anh là một ví dụ về một chiến lược quản lý dài hạn được đánh giá và sửa đổi liên tục. Tầm quan trọng của mô hình số được minh họa bằng nghiên cứu điển hình của Kiribati. Theo đó, việc quản lý nước dưới đất thành công là một nhiệm vụ có tính chuyên môn cao, đòi hỏi sự hợp tác chặt chẽ giữa các nhà địa chất thủy văn và các chuyên gia khác như kỹ sư, cơ quan thẩm quyền và người ra quyết định.

Trường hợp 1: Các giếng bơm thay thế (South Downs, Anh)



Bản đồ 5.1: Bản đồ vị trí South Downs, Anh, cho thấy điều kiện địa chất cơ bản và các lỗ khoan cung cấp nước công cộng (Jones và Robins 1999).

Giới thiệu

Tầng chứa nước đá vôi ở khu vực ven biển South Downs ở Anh (Bản đồ 5.1) cung cấp khoảng 70% nhu cầu nước cho khu vực. Nó dễ bị xâm nhập mặn từ nước biển nhưng do tính chất nứt nẻ của đá phấn, một vùng nêm rõ ràng của nước biển xâm nhập đã không hình thành. Thay vào đó, sự phân bố độ mặn của nước dưới đất hết sức bất thường. Các giếng trong nội địa có độ mặn cao hơn so với độ mặn của giếng gần bờ biển. Độ mặn cũng thay đổi theo thời gian và phản ứng với những thay đổi của mực nước, thủy triều và hoạt động khai thác.

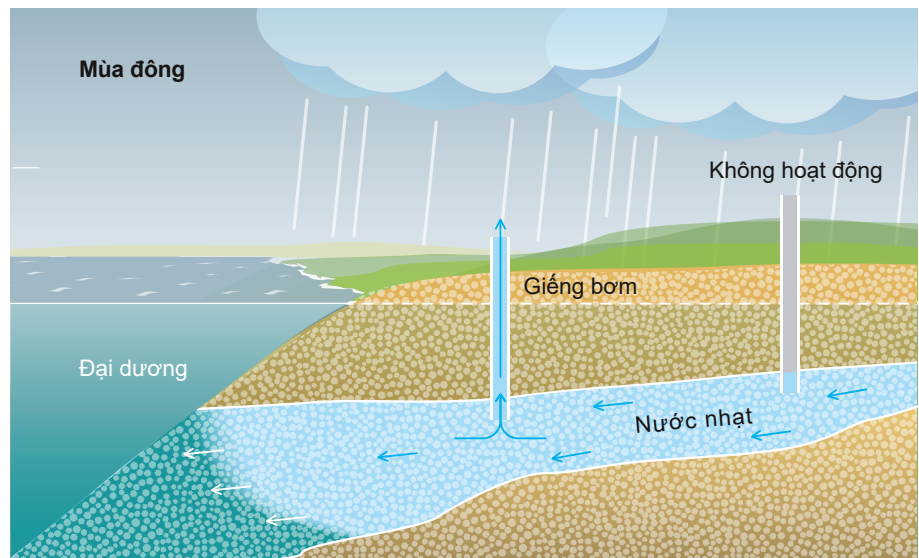
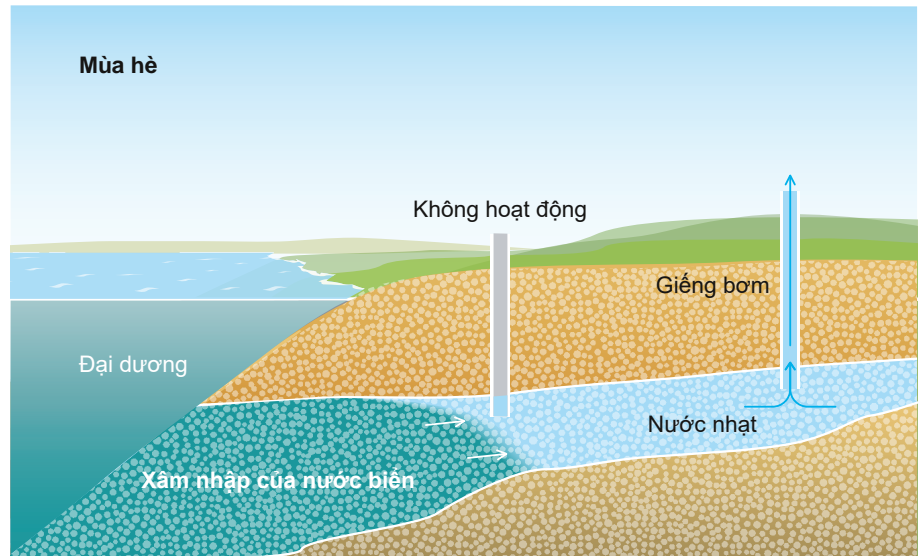
Giải pháp quản lý

Nước dưới đất đang được khai thác từ tổng số 46 giếng với tổng lượng khai thác bằng 25% mức bổ cập trung bình. Tuy nhiên, trong những năm khô hạn, tỷ lệ này có thể lên tới trên 60% (Robins và cộng sự, 1999). Do các vấn đề xâm nhập mặn, một chính sách khai thác phức tạp đã được đưa ra vào đầu năm 1957. Các lỗ khoan ven biển được ưu tiên bơm trong những tháng mùa đông, ngăn chặn dòng chảy ra của nước nhạt và cho phép mực nước ở các lỗ khoan trong nội địa phục hồi (Hình 5.1). Trong suốt mùa hè, tình hình đảo ngược, các lỗ khoan trong nội địa được bơm để sử dụng lượng nước dưới đất dự trữ trong những tháng mùa đông (Robins và cộng sự, 1999).

Kết quả của chính sách này là sự gia tăng hiệu quả mực nước xung quanh các lỗ khoan trong nội địa và do đó làm lượng nước dự trữ và lượng nước

khai thác tiềm năng tăng lên đáng kể. Lưu lượng khai thác sẽ tăng 33% với sự gia tăng đồng thời của mực nước dưới đất trung bình 1,6 m. Lượng nước này đủ để hạn chế sự xâm nhập của nước biển và làm giảm nồng độ của clorua trong nước dưới đất. Trong thời kỳ hạn hán từ năm 1988 đến năm 1992 khi lượng mưa mùa đông thấp hơn 20% so với mức trung bình dài hạn, một số mục đích sử dụng nước đã không được cấp phép khai thác. Do vậy, mặc dù mực nước giảm, nhưng nguồn cung vẫn có thể được duy trì.

Hình 5.1 Sơ đồ minh họa nguyên lý các giếng khai thác xen kẽ để ngăn chặn sự xâm nhập của nước biển. Vào mùa hè, khi lượng bổ cập thấp, nước dưới đất chỉ được bơm trong nội địa để ngăn chặn sự xâm nhập của nước biển. Vào mùa đông, khi quá trình bổ cập xảy ra, nước có thể được bơm gần bờ biển, cho phép mực nước dưới đất trong nội địa phục hồi.



Kết quả

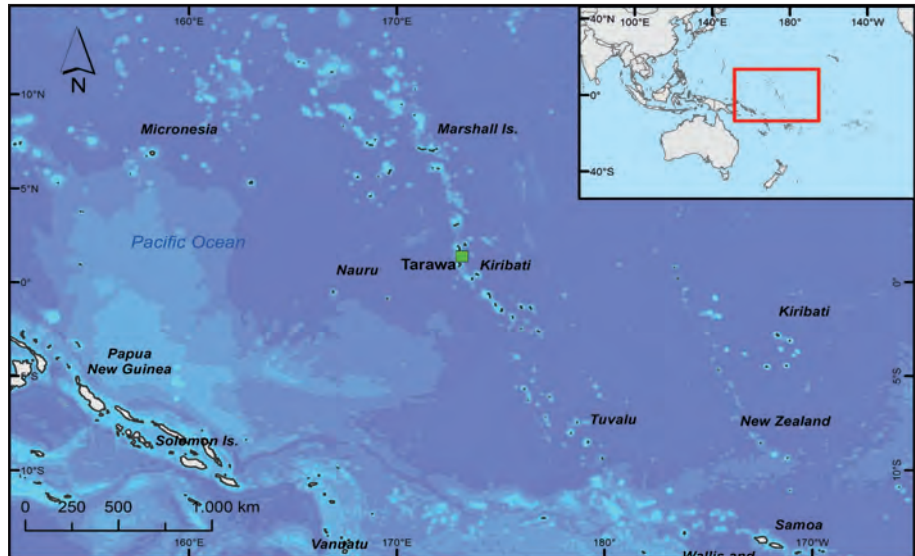
Các vấn đề liên quan đến việc thực hiện chương trình quản lý chủ yếu là quá trình vận hành. Chẳng hạn, sự liên kết giữa các nguồn cấp đặt ra những khó khăn nhất định. Việc vận chuyển nước trên một trên một khoảng không gian lớn đòi hỏi một nguồn kinh phí và năng lượng lớn. Điều này có nghĩa là không phải tất cả các khuyến nghị chính sách đều nên tuân thủ. Nếu thiếu sự phản hồi từ khía cạnh vận hành thì khó có thể thực hiện được các kiến nghị đề ra.

Mặc dù còn tồn tại những vấn đề như vậy, chương trình quản lý này rõ ràng đã thành công trong việc bảo vệ nguồn cung nước ngọt. Các yếu tố góp phần vào sự thành công này có vai trò then chốt trong việc thực hiện thành công các chiến lược quản lý ở các đới ven biển khác. Chúng bao gồm:

- *Có kiến thức tốt về hệ thống tầng chứa nước với đầy đủ dữ liệu địa chất thủy văn được cập nhật liên tục khi có dữ liệu mới (Robins and Dance 2003).*
- *Hiệu quả của hoạt động khai thác được giám sát chặt chẽ bằng cách xác định nồng độ clorua và mực nước trong giếng quan trắc.*
- *Hoạt động khai thác được kiểm soát thông qua một hệ thống cấp phép và chính sách rõ ràng.*

Trường hợp 2: Quản lý tài nguyên nước đối với một hệ thống địa chất thủy văn (Nam Tarawa, Kiribati)

Bản đồ 5.2: Bản đồ vị trí Tarawa, Kiribati



Giới thiệu

Ở các đảo san hô, nguồn cung nước phụ thuộc phần lớn vào thấu kính nước dưới đất nhạt “trôi nổi” trên một vùng nước lợ. Cộng hòa Kiribati là một quốc gia trong khu vực Trung tâm Thái Bình Dương (Bản đồ 5.2) bao gồm 33 đảo san hô trải dài trên diện tích khoảng 5 triệu km². Với dân số gần 60.000 người vào năm 2015, phần phía nam của đảo san hô Tarawa là khu đô thị chính của Kiribati. Các cư dân được cung cấp nước có nguồn gốc từ các thấu kính nước nhạt trên các đảo Bonriki và Buota.

Các thấu kính Bonriki được tuyên bố là nguồn dự trữ nước vào năm 1977. Hoạt động khai thác nước dưới đất bắt đầu vào những năm 1970 và được mở rộng trong những thập kỷ sau đó. Để giảm nguy cơ bị nâng phễu nước mặn, khai thác được thực hiện thông qua hệ thống các giếng nằm ngang, được gọi là hầm xâm nhập. Số lượng hầm tăng từ 4 lên 22 hầm vào năm 2003, và lưu lượng khai thác được coi là bền vững với 1.660 m³/ngày.

Tình trạng của các thấu kính với vai trò là nguồn dự trữ nước có nghĩa là hoạt động định cư, khai thác cát sỏi và nông nghiệp sẽ bị cấm. Việc thực thi các quy định này đã gặp vấn đề. Kết quả là, xuất hiện nguy cơ cao về ô nhiễm nguồn nước nhạt. Hoạt động bơm liên tục cũng làm cho các thấu kính này trở nên dễ bị tổn thương bởi xâm nhập mặn hơn trong thời gian hạn hán. Do đó, quản lý hoạt động khai thác với công suất không đổi như hiện tại đang được đánh giá lại (Galvis-Rodriguez và cộng sự, 2017).

Giải pháp quản lý

Hiện trạng của thấu kính được giám sát bởi một hệ thống giếng quan trắc trong đó độ mặn của nước được đo với tần suất ba tháng một lần. Lượng mưa được đo hàng ngày. Với những dữ liệu này, phản ứng của thấu kính với lượng mưa và hoạt động khai thác có thể được xác định. Dữ liệu này cho thấy từ những năm 1980, thấu kính đã trở nên mỏng hơn và độ mặn của nước khai thác hiện nay cho thấy có sự phản ứng mạnh mẽ hơn với lượng mưa so với trước đây.

Một trong những cách tiếp cận quản lý trong tương lai hiện được coi là có liên quan đến chế độ bơm động, trong đó các giếng được mở và đóng phụ thuộc vào lượng mưa và độ mặn của nước dưới đất khai thác. Dựa trên các tiêu chí ngưỡng độ mặn được xác định trước, một giếng có thể bị ngừng hoạt động trong thời gian hạn hán và được hoạt động trở lại nếu độ mặn của nước dưới đất đạt mức nhất định trong một khoảng thời gian nhất định. Kết quả là, lượng nước có thể cung cấp từ nguồn dự trữ sẽ ít đi, nhưng đảm bảo lợi ích của sự bền vững lâu dài của thấu kính.

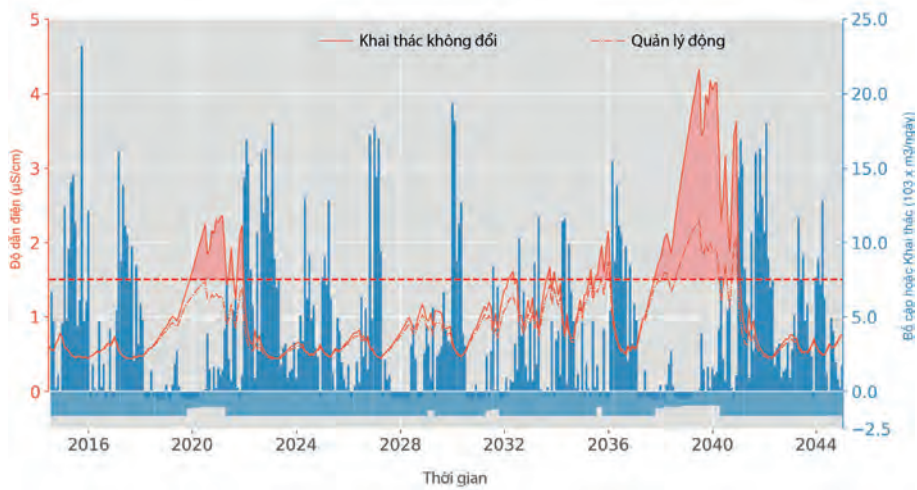
Sự suy giảm nguồn nước dưới đất trong mùa hạn hán có nghĩa là các lựa chọn cấp nước khác, chẳng hạn như nước biển khử mặn hoặc nước mưa trở nên cần thiết. Để đánh giá các tác động kinh tế xã hội cần phải biết trữ lượng của nước dưới đất trong tương lai. Trữ lượng này có thể được ước tính dựa trên mô hình số. Trong khuôn khổ dự án CAIA (Galvis-Rodriguez và cộng sự năm 2017), một mô hình số mô phỏng đảo Bonriki đã được phát triển và hiệu chỉnh theo bộ số liệu đo được hiện nay. Mô hình được hiệu chỉnh sau đó đưa ra kịch bản trong 30 năm tới dựa trên các giả định về hình thái mưa, sử dụng đất và khai thác trong tương lai.

Sử dụng mô hình này, các kịch bản quản lý khác nhau đã được kiểm nghiệm và so sánh với kịch bản cơ bản cho sự phân bố lượng mưa giả định trong tương lai. Trong trường hợp cơ bản, hai đợt hạn hán xảy ra trong ba năm và hoạt động sử dụng đất không đổi. Kịch bản này được so sánh với kịch bản có các quy tắc quản lý, nơi các giếng có độ dẫn điện (EC, đo độ mặn của nước dưới đất) vượt ngưỡng 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sẽ bị ngừng hoạt động và sẽ bị ngừng cho đến khi giá trị EC giảm xuống dưới 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hình 5.2 cho thấy sự phát triển của EC theo thời gian. Có thể thấy rằng nếu không có sự quản lý bổ sung, lưu lượng khai thác hiện nay có thể làm cho giá trị EC vượt ngưỡng EC = 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mức vẫn được cộng đồng chấp nhận đối với nước uống. Kịch bản quản lý thích nghi thực sự giúp giảm tác động của hạn hán đối với độ mặn của nước khai thác.

Kết quả

Dựa trên các mô phỏng số, một tập hợp các lựa chọn quản lý trong tương lai đã được đề xuất cho chính phủ Kiribati. Tại thời điểm viết tài liệu này, quá trình ra quyết định vẫn đang được thực hiện. Nghiên cứu cũng làm rõ rằng những phát triển khác có thể có tác động đáng kể đến thấu kính nước nhạt. Ví dụ, việc chặt bỏ cây dừa để nhường chỗ xây dựng một nhà máy điện quang vào tháng 9 năm 2015 đã làm gia tăng lượng bổ cập nước dưới đất, có lợi cho thấu kính (Galvis-Rodriguez và cộng sự, 2017).

Hình 5.2: Mô phỏng các lựa chọn quản lý nước khác nhau. Với lưu lượng khai thác không đổi 1.660 m³/ngày sẽ dẫn đến độ dẫn điện cao trên 1.500 µS/cm, trong khi giảm lượng khai thác trong mùa hạn hán giúp giảm thiểu tình trạng nhiễm mặn nhưng cũng làm giảm lượng nước khả dụng.



5.2 Phương pháp quản lý nhu cầu

Quản trị tài nguyên nước tốt cần đảm bảo rằng nhu cầu của con người về nước phải phù hợp với khả năng đáp ứng của hệ thống tự nhiên. Ngoài việc giảm thiểu nguy cơ từ khai thác quá mức, việc giữ cho nhu cầu về nước ở mức thấp nhất có thể cũng đem lại một số lợi thế khác, chẳng hạn như giảm mức tiêu thụ năng lượng, giảm chi phí cho hoạt động cấp nước, nhu cầu xử lý nước thải ít hơn và khả năng cung cấp nước cho các hệ sinh thái phụ thuộc vào nguồn nước cao hơn. Nhu cầu về nước dưới đất có thể giảm nếu áp dụng thuế tài nguyên nước, cấp phép giếng khai thác, hạn chế lượng phân bón hoặc đưa ra các ưu đãi như trợ cấp cho công nghệ tưới tiêu hiệu quả hay các công nghệ tiết kiệm nước khác. Một số ví dụ được đưa ra trong Chương 4. Nghiên cứu điển hình tại khu vực ven biển đang phát triển nhanh chóng ở Trung Quốc trình bày dưới đây minh họa thêm cho nội dung này.

Trường hợp 3: Nhu cầu nước dưới đất được quản lý (Thiên Tân, Trung Quốc)



Bản đồ 5.3: Bản đồ vị trí Thiên Tân, Trung Quốc

Giới thiệu

Khu vực ven biển của Biển Bột Hải nằm cách thủ đô Bắc Kinh hơn 100 km về phía đông nam (Bản đồ 5.3) là một trong những khu vực phát triển nhanh nhất ở Trung Quốc. Với dân số khoảng 15 triệu người (2013) và nguồn tài nguyên nước hạn chế, đây là một trong những vùng khan hiếm nước nhất tại Trung Quốc. Thành phố Thiên Tân có nguồn nước tái tạo hàng năm theo đầu người là $160 \text{ m}^3/\text{người}$ (Zhang và cộng sự, 2008). Sự phát triển kinh tế và tăng trưởng dân số trong những thập kỷ qua đã làm gia tăng hoạt động khai thác nước dưới đất (Hu và cộng sự, 2009). Điều này khiến lưu lượng khai thác vượt xa lượng bổ cập, gây ra hiện tượng xâm nhập mặn tại một số tầng chứa nước ven biển (Shi và Jiao 2014). Hiện tượng nước nhiễm mặn đã ảnh hưởng đến nguồn cấp nước cho khoảng 400.000 người và khoảng 8.000 giếng tưới tiêu đã bị đóng cửa (Shi và Jiao 2014: 2813). Một số nông dân tiếp tục sử dụng nước dưới đất để tưới tiêu dẫn đến hiện tượng đất nhiễm mặn, làm giảm sản lượng nông nghiệp tới 60% (Chunmei 2000). Ngoài hiện tượng xâm nhập mặn của nước biển, khai thác nước dưới đất còn dẫn đến sụt lún nền đất. Khu vực đô thị Thiên Tân bị ảnh hưởng nhiều nhất với mức sụt lún trung bình hàng năm trên 10 cm vào năm 1981. Do các biện pháp ngăn chặn được thực hiện trong những năm 1980, tỷ lệ sụt lún đã giảm xuống còn 20 mm/năm (He và cộng sự, 2006: 394) nhưng đến năm 2000, tỷ lệ sụt lún lũy kế từ năm 1960 lên tới 3 mét tại thành phố Thiên Tân (Xu và cộng sự, 2009). Nhìn chung, nguồn cung nước và các vấn đề liên quan đến khai thác nước (quá mức) được coi là một trở ngại lớn đối với quá trình phát triển (Song và cộng sự, 2011).

Các biện pháp giảm nhu cầu nước dưới đất

Một số biện pháp đã được thực hiện bởi chính phủ để kiểm soát khai thác nước dưới đất, bao gồm:

- Hạn chế khai thác nước dưới đất và hạn chế khoan giếng
- Áp dụng thuế tài nguyên nước
- Giảm nhu cầu nước tưới tiêu trên một ha
- Thay thế nước dưới đất bằng các nguồn khác, chẳng hạn như nhập khẩu nước từ các lưu vực khác, tái sử dụng nước thải và khử mặn nước biển

Khai thác nước dưới đất hoàn toàn bị cấm tại khu vực đô thị Thiên Tân vào năm 1987. Người sử dụng nước phải xin phép cơ quan thẩm quyền thành phố. Đồng thời một hệ thống thuế quan đã được áp dụng, và được sửa đổi vào các năm 1998 và 2002 (Bảng 5.1) để đáp ứng các mục tiêu chính sách và thúc đẩy các nỗ lực bảo tồn nguồn nước. Ban đầu ngành nông nghiệp – đối tượng sử dụng nước lớn nhất - vẫn được miễn thuế quan và miễn chấp hành các quy định khai thác (Kataoka 2010) nhưng buộc phải áp dụng các công nghệ tưới tiêu hiệu quả. Trong năm 2006, nông dân ở một số vùng phải thực hiện đo đạc lượng nước sử dụng. Quy định về nhu cầu nước nông nghiệp là thách thức lớn nhất.

Bảng 5.1: Bảng thuế tài nguyên nước ở Thiên Tân (Xu và Zhang 2006 được trích dẫn trong Kataoka 2010)

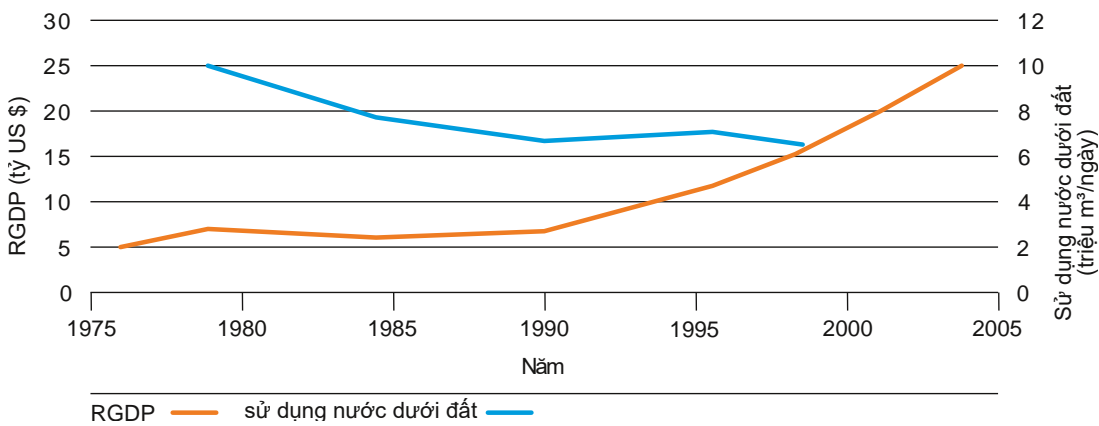
Năm	Đối với các doanh nghiệp thành phố (NDT/m ³)	Đối với các công ty dầu khí và hóa học (NDT/m ³)	Các doanh nghiệp khác (NDT/m ³)
1987	0,05	0,12	0,0968
1998	0,50	0,50	0,50
2002	1,30 (tại các khu vực có nước máy: 1,90)		

Nhu cầu ngày càng tăng ở Thiên Tân đã được đáp ứng bằng việc tái sử dụng nước thải, nước chuyển từ các lưu vực khác và khử mặn nước biển. Tỷ lệ tái sử dụng nước thải trong ngành công nghiệp đã tăng từ 40% trong những năm 1980 lên 74% vào những năm 1990.

Một dự án lớn chuyển nước từ sông Luan đến thành phố Thiên Tân được hoàn thành vào năm 1983. Do khan hiếm nước ở lưu vực sông Luan, năm 2004, nước đã được chuyển từ sông Hoàng Hà (Kataoka 2010). Ngoài ra, siêu dự án chuyển nước Nam-Bắc đã chuyển nước ngọt từ sông Dương Tử ở miền nam Trung Quốc sang các vùng đồng bằng phía bắc khô cằn và công nghiệp hơn, nơi có các thành phố như Bắc Kinh và Thiên Tân (Shi và Jiao 2014).

Kết quả

Các dự án chuyển nước lớn từ những năm 1980 có vai trò đặc biệt quan trọng trong việc tách rời sự tăng trưởng kinh tế khổng lồ của Thiên Tân khỏi sự khai thác nước dưới đất (Hình 5.3). Tại các khu vực đô thị, tình trạng suy giảm nước dưới đất và các tác dụng phụ bất lợi của nó - sụt lún nền đất và xâm nhập mặn - đã được giảm thiểu hoặc thậm chí đảo ngược (IGES 2007). Khai thác nước dưới đất hiện đang được điều chỉnh mạnh mẽ và bị cấm trong các khu vực quan trọng nhất. Việc áp dụng các công nghệ tiết kiệm nước trong sản xuất nông nghiệp và công nghiệp đã tăng lên (Zhang và cộng sự, 2016). Tuy nhiên, thời kỳ hạn hán tiếp tục thách thức tài nguyên nước của vùng và có thể làm tăng sự phụ thuộc vào nước dưới đất.

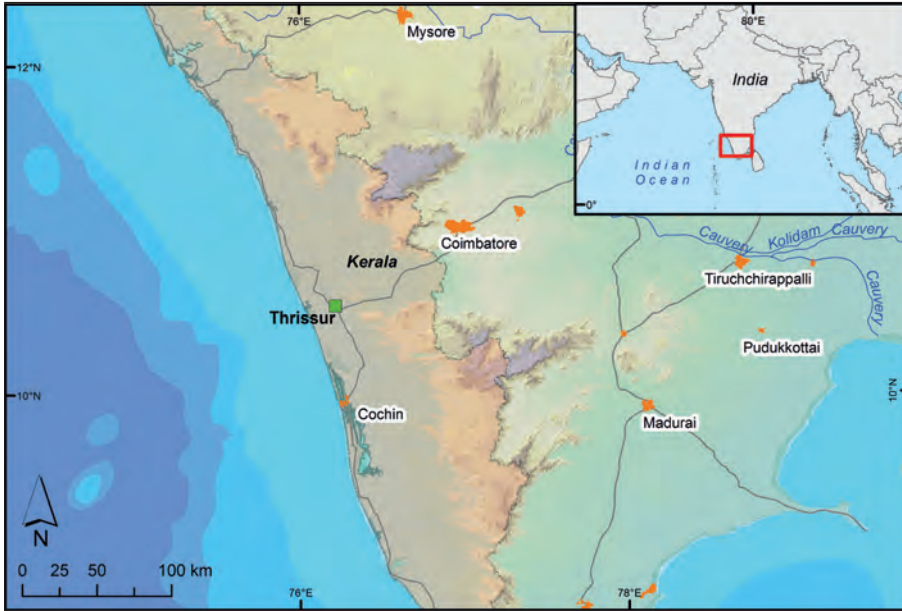


Hình 5.3 Tổng sản phẩm quốc nội vùng (RGDP) và sử dụng nước dưới đất (IGES 2007)

5.3 Phương pháp bổ cập tầng chứa nước tầng cường

Có nhiều biện pháp có thể thực hiện để tăng cường bổ cập nước dưới đất. Một số được liên kết với quy hoạch đô thị và sử dụng đất, như lập quy hoạch không gian mở hoặc thấm rỉ nước mưa phi tập trung. Hơn nữa, những thay đổi về độ che phủ đất có thể mang lại những tác dụng phụ có lợi cho bổ cập nước dưới đất, ví dụ như làm sạch thảm thực vật có tỉ lệ sử dụng nước cao, nếu được chấp nhận về mặt xã hội và sinh thái (xem trường hợp 2, Phần 5.1). Lưu trữ nước dư thừa dưới lòng đất khi nó có sẵn là một giải pháp khác được áp dụng đặc biệt trong môi trường khí hậu đặc trưng bởi mùa mưa và mùa khô. Trong mùa mưa, nước dư thừa có thể được bơm vào tầng chứa nước và được lưu trữ ở đó để sử dụng vào mùa khô. Để thực hiện thành công, điều quan trọng là phải có kiến thức tốt về khả năng lưu trữ và phục hồi của tầng chứa nước mục tiêu, thay đổi chất lượng nước tiềm năng và tiềm năng thu hoạch dựa trên dữ liệu lượng mưa. Phần này trình bày hai nghiên cứu điển hình về bổ cập nhân tạo. Trường hợp đầu tiên (Kerala, Ấn Độ) có chi phí thấp và có thể thực hiện ở cấp hộ gia đình với các phương tiện công nghệ đơn giản. Trường hợp thứ hai (phía tây nam Hà Lan) đòi hỏi công nghệ tinh vi hơn và vốn đầu tư cao hơn, nhưng khả năng cung cấp nước tưới ở các trang trại cũng tăng cao hơn.

Trường hợp 4: Thu gom nước mưa trên mái nhà cho giếng đào (Kerala, Ấn Độ)



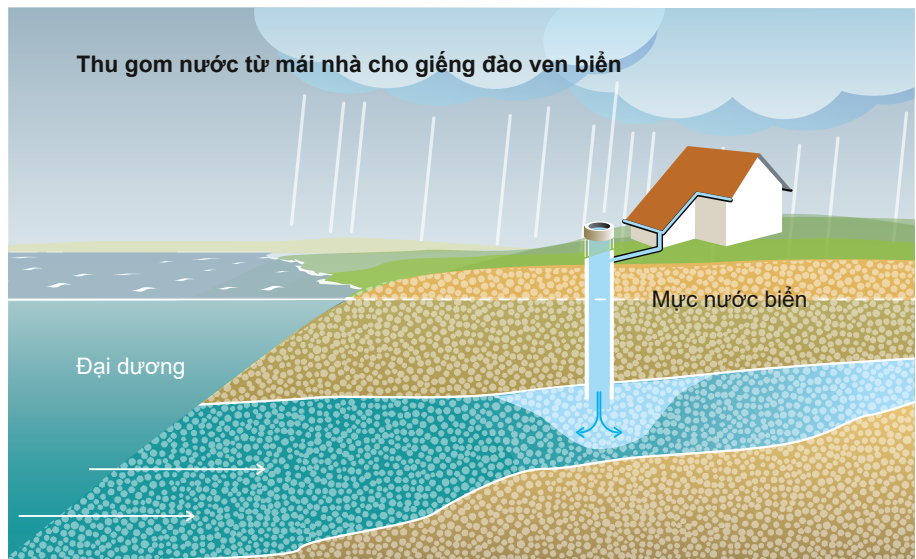
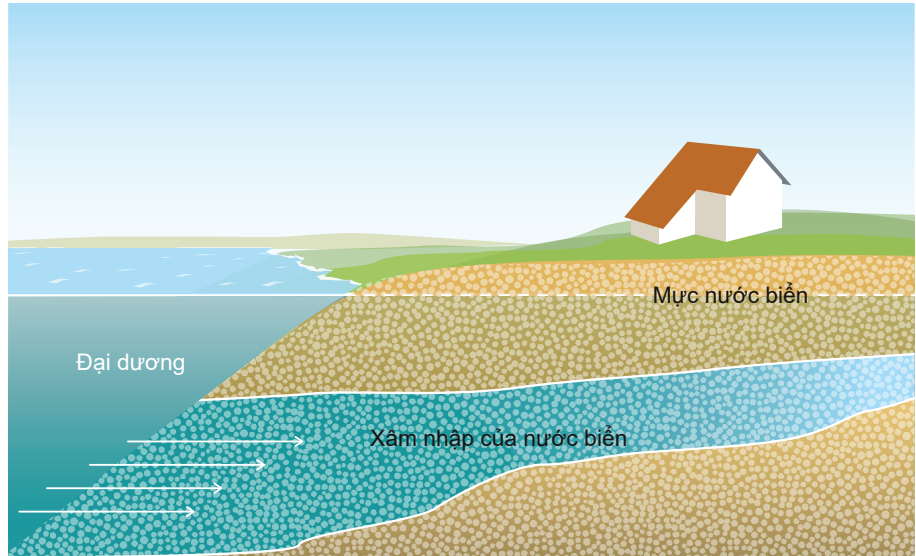
Bản đồ 5.4: Bản đồ vị trí Kerala, Ấn Độ.

Giới thiệu

Ở Kerala, trên bờ biển phía tây nam của Ấn Độ (Bản đồ 5.4), khoảng 80% số hộ gia đình sống dựa vào nước dưới đất. Nước được lấy từ các giếng nông, với mật độ lên tới 400 giếng trên 1 km² tại khu vực duyên hải của tiểu bang. Mặc dù lượng mưa hàng năm cao lên tới 3.000 mm, tập trung vào hai mùa gió mùa, lượng bổ cập nước dưới đất bị hạn chế do đất có khả năng thấm nước yếu. Do đó, mực nước ngầm sụt giảm, 70% các giếng sẽ cạn kiệt nước trong những tháng mùa hè khô (Ủy ban Kế hoạch - Chính phủ Ấn Độ 2008). Điều này gây nên hiện tượng xâm nhập mặn dọc theo các đầm phá và sông thủy triều, kết hợp với hoạt động khai thác cát bất hợp pháp từ lòng sông ven biển đã làm vấn đề trở nên trầm trọng hơn.

Công nghệ

Lượng mưa lớn trong những tháng mùa mưa tạo tiềm năng lớn cho hoạt động tích trữ nước. Trong năm 2008, dự án Mazhapolima (www.mazhapolima.org) đã phát triển cơ sở hạ tầng để thu hoạch nước từ các mái nhà và chuyển vào các giếng mở với mục đích lưu trữ trong tầng chứa nước (Hình 5.4). Trước khi bơm, nước được chảy qua một bộ lọc bằng cát và than hoặc thông qua một bộ lọc dệt từ nylon hoặc vải. Khi giếng được đổ đầy nước, nó thấm vào tầng chứa nước xung quanh.



Hình 5.4: Thu gom nước trên mái nhà và đưa vào giếng đào. Khi độ mặn của nước đưa vào giếng nhỏ hơn nước của tầng chứa nước, có thể đạt được sự cải thiện cục bộ về chất lượng nước dưới đất.

Kể từ khi bắt đầu dự án Mazhapolima năm 2008, 20.000 giếng thu hoạch đã được lắp đặt. Chi phí cho mỗi đơn vị tùy thuộc vào loại bộ lọc, từ 75 US\$ (bộ lọc vải dệt) đến 100 US\$ (bộ lọc cát và than, Raphael 2014). Ở các vùng ven biển, độ mặn của nước thấp hơn nước dưới đất xung quanh, giúp cải thiện chất lượng nước dưới đất tại khu vực gần giếng (NITI và UNDP 2015). Trong khi các giếng đào mang đến sự thuận lợi cho quá trình bổ cập nước mưa vào tầng chứa nước, chúng cũng có thể trở thành những đường dẫn gây ô nhiễm tầng chứa nước. Đã có các báo cáo chỉ ra rằng một số giếng được sử dụng làm bãi chứa nước thải, gây ra nhiễm khuẩn nước bổ cập (NITI và UNDP 2015). Do đó, xây dựng năng lực tốt và giám sát suốt quá trình (nước dưới đất xung quanh, nguồn nước để bổ cập, nước thu hồi) và hạ tầng kỹ thuật (bộ lọc, giếng) tại các hộ gia đình có ý nghĩa quan trọng cho sự thành công và tính bền vững của phương pháp. Điều này bao gồm đăng ký cập nhật và địa-tham chiếu của giếng, điều kiện bổ cập và kiến thức để xử lý giếng đào, cả khi chúng không còn được sử dụng để bổ cập nữa. Để sử dụng phương pháp này, cần có sự phối hợp chặt chẽ với các cơ quan thẩm quyền, hoặc đi kèm với các chương trình tăng cường năng lực cho các nhóm người sử dụng nước dưới đất, những người có khả năng bảo vệ tầng chứa nước (Chương 4).

Trường hợp 5: Quản lý thấu kính nước nhạt tiên tiến (Zeeland, Hà Lan)

Bản đồ 5.5: Bản đồ vị trí Zeeland, Hà Lan.



Giới thiệu

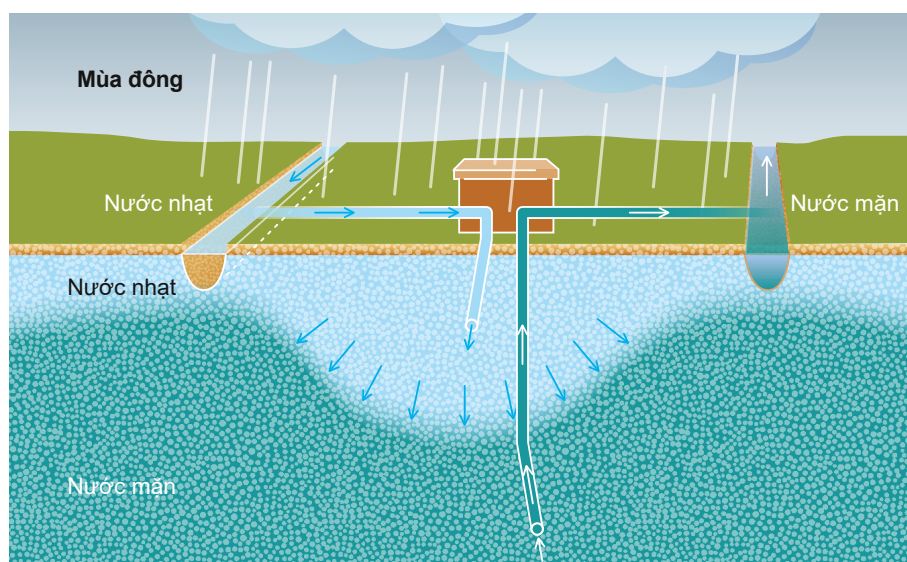
Phần lớn diện tích của Hà Lan nằm bằng hoặc dưới mực nước biển. Nguồn nước dưới đất trong các khu vực ven biển của nước này do đó bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn (Oude Essink và cộng sự, 2012). Điều này đặt ra một thách thức lớn cho công tác quản lý hoạt động cấp nước cho ăn uống và nông nghiệp. Biến đổi khí hậu, mực nước biển dâng và sụt lún đất sẽ gây thêm áp lực lên nước nhạt, đặc biệt là trong mùa hè. Nước dưới đất lợ và mặn thường được tìm thấy ở tầng nông. Ở những khu vực này, nước cho các hoạt động nông nghiệp phụ thuộc vào các thấu kính nước nhạt được hình thành bởi nước mưa thấm xuống các tầng chứa nước mặn hoặc lợ (Oude Essink và cộng sự, 2012). Các thấu kính có độ dày khác nhau từ > 50 m trong các khu vực cồn cát, 5 đến 20 m trong các lạch cát hóa thạch và từ 1 đến 2 m ở các khu vực đất lấn biển.

Lưu trữ và Phục hồi Tầng chứa nước (ASR) có thể mở rộng các thấu kính nước nhạt cục bộ. Ưu điểm chính so với lưu trữ nước trên mặt là ASR cần một vùng diện tích bề mặt nhỏ hơn nhiều (Zuurbiel và cộng sự 2013a) và nước không bị bốc hơi. Đặc biệt là ở các đới ven biển có nước dưới đất mặn hoặc lợ, việc áp dụng ASR đòi hỏi chuyên môn cao về địa chất thủy văn, kiến thức chính xác về đặc điểm của tầng chứa nước cũng như đầu tư vào công nghệ và cơ sở hạ tầng. Sự phục hồi nước nhạt được lưu trữ có thể bị ảnh

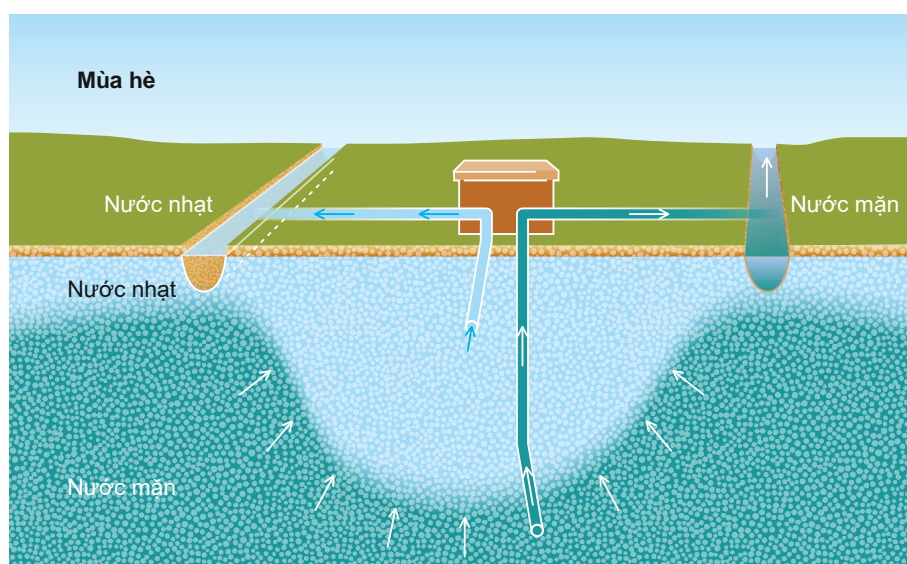
hường tiêu cực bởi dòng chảy bên, hiệu ứng mật độ và pha trộn phân tán, vì chúng làm giảm lượng nước thu hồi được. Trong khu vực nhà kính thuộc vùng đồng bằng Tây Nam của Hà Lan (Bản đồ 5.5), các công nghệ bổ cập tiên tiến đang được phát triển (Veraart và cộng sự, 2017)

Công nghệ

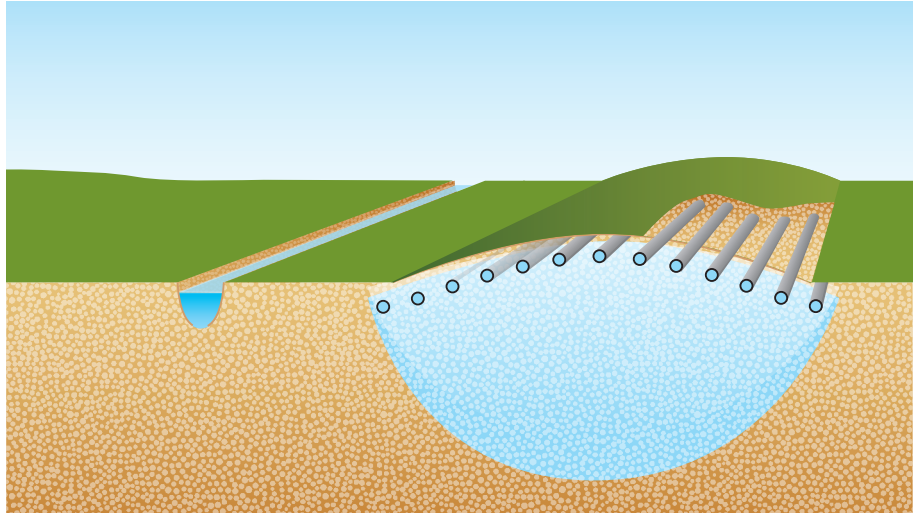
Máy tạo nhạt (Freshmaker) là một hệ thống mở rộng các thấu kính nước nhạt trong mùa đông bằng cách bơm nước nhạt từ một mương nước gần đó thông qua một giếng ngang nông dài 70 m (Hình 5.5). Giếng thứ hai, sâu hơn nằm ngang liên tục chặn nước dưới đất mặn phía dưới và xả vào mương khác.



Hình 5.5: Thấu kính nước nhạt nhân tạo trong nước ngầm mặn có sẵn nước nhạt đã bổ cập vào những tháng mùa đông và được sử dụng để tưới tiêu trong những tháng mùa hè.



Hình 5.6 Hệ thống thấm lọc đỉnh lạch. Nước nhạt được thấm lọc vào các đỉnh lạch thông qua hệ thống tiêu nước ở độ sâu 1,20m bên dưới mặt đất và mở rộng thấu kính nước nhạt được sử dụng để tưới tiêu trong các thời kỳ khô hạn.



Các thấu kính nước nhạt mở rộng, do đó, có thể được sử dụng để tưới tiêu vào mùa hè (Zuurbier và cộng sự 2013b), khi nguồn cung nước tưới thiếu hụt. Trong một thử nghiệm thực địa, biên mặn – nhạt được dịch chuyển xuống dưới từ độ sâu ban đầu khoảng 5 m đến độ sâu của giếng sâu. Một lượng nước nhạt bổ sung bằng 4.200 m³ được tạo ra từ đó. Trong giai đoạn khai thác, biên mặn – nhạt di chuyển lên trên nhưng không đạt tới giếng trên (Zuurbier và cộng sự, 2014). Chi phí ước tính của nước được sản xuất bằng cách sử dụng hệ thống này là 0,35 €/m³, (Vink và cộng sự, 2010), trong khi nhà cung cấp dịch vụ nước nông nghiệp địa phương tính phí 0,60 €/m³.

Ở các khu vực ven biển trũng bằng phẳng, những con lạch thủy triều trước đây có thể cao hơn một chút so với vùng đất xung quanh vì chúng chứa trầm tích cát nên dễ bị sụt lún hơn so với đất sét bồi lắng ở khu vực liền kề. Do có cao độ lớn hơn và độ thấm cao hơn so với đất sét liền kề nên một số đỉnh lạch chứa một thấu kính nước nhạt dày từ 10 đến 15 mét. Trong một thấu kính nước nhạt như vậy ở phía tây nam của Hà Lan (tỉnh Zeeland), nước đã được bơm để mở rộng thể tích trong một thử nghiệm vào năm 2013. Thấm lọc được thực hiện thông qua nhiều ống cống gạch ở độ sâu 1,2 m dưới bề mặt, bao phủ toàn bộ chiều rộng của thấu kính (Hình 5.6). Một mạng quan trắc mở rộng được thiết kế để tìm hiểu các quá trình nước dưới đất và tối ưu hóa hoạt động của hệ thống. Trong tháng đầu tiên của dự án, mực nước dưới đất tăng 0,5 m và biên mặn – nhạt di chuyển 15 cm xuống phía dưới.

5.4 Các phương pháp kỹ thuật dưới mặt đất

Các giải pháp kỹ thuật dưới mặt đất để ngăn chặn sự xâm nhập của nước biển thường tốn kém và đòi hỏi một cơ sở hạ tầng kỹ thuật phức tạp. Do vậy, tài liệu tham khảo không có nhiều, chỉ có một vài mô tả chi tiết được ghi chép. Hai trong số đó được trình bày dưới đây, bao gồm: tường chắn thủy lực (Los Angeles, Mỹ) và đập ngầm (Sơn Đông, Trung Quốc).



Trường hợp 6: Giếng bơm và các tường chắn thủy lực (Los Angeles, California)

Bản đồ 5.6: Bản đồ vị trí Los Angeles, California và các vị trí của tường chắn thủy lực (Johnson 2007a)



Giới thiệu

Ở phía tây nam hạt Los Angeles, hai hệ thống tầng chứa nước (Lưu vực Trung tâm và Lưu vực Bờ Tây, Bản đồ 5.6) nằm liền kề với Thái Bình Dương. Khai thác nước dưới đất từ đầu những năm 1900 đến những năm 1950 đã khiến mực nước giảm xuống dưới mực nước biển, gây ra hiện tượng xâm nhập mặn, khiến một số giếng khai thác phải ngừng hoạt động và đe dọa đến hoạt động sử dụng nước từ nguồn cấp chính này. Từ giữa những năm 1950 đến giữa những năm 1960, các cơ quan quản lý nước dưới đất đã áp dụng các biện pháp pháp lý và công nghệ để ngăn chặn sự xâm nhập mặn và kiểm soát tình trạng khai thác quá mức. Từ thực trạng nhu cầu và quyền khai thác nước dưới đất đang vượt quá mức bổ cập tự nhiên, các chương trình bổ cập nhân tạo và ép nước nhạt vào các giếng để dự trữ đã được thiết lập (Johnson và Whitaker 2004). Chương trình quản lý và giám sát tình vi được đưa ra để giúp đảm bảo số lượng và chất lượng của tài nguyên. Việc thực hiện thành công các đề án này giúp cho hoạt động sử dụng nước dưới đất của cả hai lưu vực tiếp tục được duy trì.

Công nghệ

Nước dưới đất trong khu vực nằm trong các tầng chứa nước có áp. Một dải giếng dùng để ép nước nhạt vào tầng chứa nước phân bố dọc bờ biển tạo thành một tường chắn thủy lực ngăn chặn sự xâm nhập của nước biển đã được xây dựng (Hình 5.7). Dải giếng có độ sâu lên tới 213m này được xây dựng trong khoảng thời gian từ 1953 đến 1971 (Hình 5.2). Ngoài các tường chắn thủy lực, một khu vực bổ sung nước (WRD) cũng được xây dựng để tăng cường bổ cập nhân tạo cho tầng chứa nước thông qua các bãi phun nước ở phía đông của tầng chứa nước (Bản đồ 5.6).

Ban đầu, người ta chỉ ép nước sạch đã qua xử lý vào giếng. Tuy nhiên, từ năm 1995, nước sạch được dần thay thế bằng nước thải đã qua xử lý (Chang 2013). Trong những năm 2017/2018, ba tường chắn nước biển dự kiến sẽ cần tổng cộng 37.744 triệu m³ nước, trong đó 86% lượng nước này dự kiến sẽ là nước tái chế (WRD 2017). Các mô hình mô phỏng được sử dụng để tối ưu hóa lượng nước ép và xác định các vị trí tối ưu đối với các giếng ép nước mới (Bray và Yeh 2008).

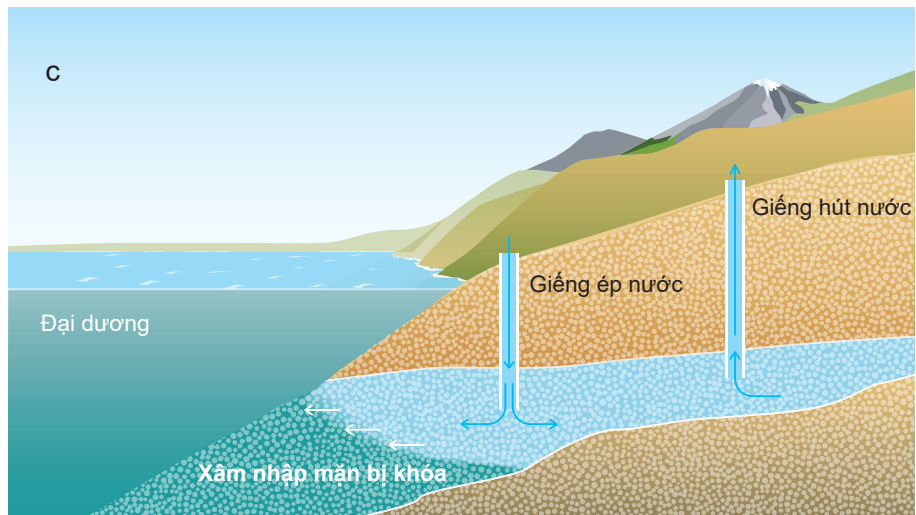
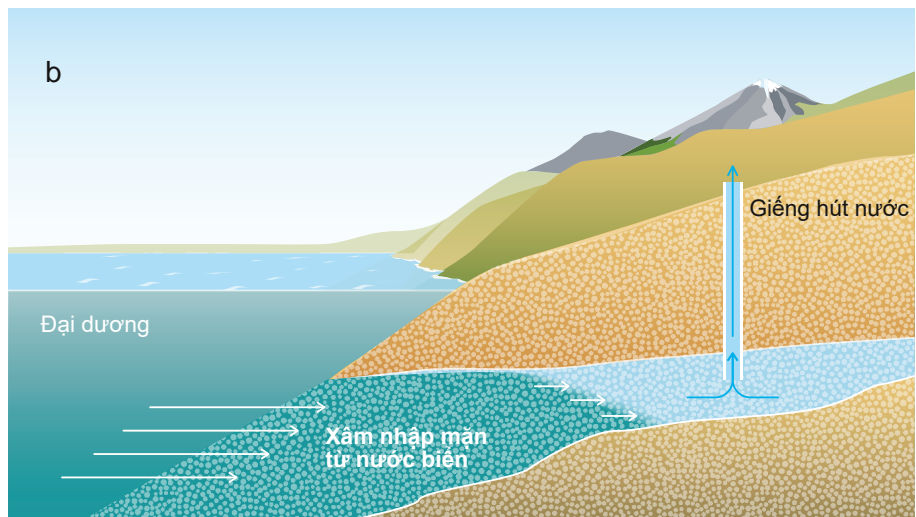
Dự án tường chắn	Bờ Tây	Dominguez Gap	Alamitos Gap
Ngày bắt đầu	1953	1971	1966
Tổng chiều dài (km)	14.5	9.5	3.2
Số giếng ép nước	153	94	43
Số giếng quan trắc	300	257	220
Lượng nước ép năm 2012 (triệu m ³)	14.618	5.347	6.415

Bảng 5.2: Các số liệu chính được lựa chọn cho các dự án tường chắn ngăn xâm nhập của nước biển ở Los Angeles (Chang 2013)

Kết quả

Thông qua các tường chắn ép, tình trạng gia tăng xâm nhập mặn nước dưới đất đã được ngăn chặn. Hơn nữa, do nước thải đô thị được xử lý bằng các phương pháp tiên tiến, các dự án tường chắn gần như được vận hành hoàn toàn bằng nước tái chế nên độc lập với nước nhạt nhập khẩu. Nước dưới đất tiếp tục đóng góp khoảng 40% nguồn cung nước của khu vực (Johnson và Kirk 2012). Tuy nhiên, những nỗ lực kỹ thuật và tài chính cũng như sự phối hợp liên tục giữa các tổ chức khác nhau vẫn cần thiết để duy trì chương trình. Năm 2018, WRD dự kiến chi cho các dự án tường chắn ngăn mặn là 25,6 triệu đô la Mỹ (WRD 2017). Những thách thức trong tương lai như nhu cầu ngày càng tăng, bảo vệ chất lượng nước và cải tạo cơ sở hạ tầng lão hóa có thể làm tăng thêm chi phí (Johnson 2007b).

Hình 5.7: Sự xâm nhập từ nước biển và các giếng chấn: a) Điều kiện tự nhiên nơi nước dưới đất nhạt chảy về phía đại dương, xâm nhập mặn xảy ra ở mức tối thiểu; b) Khai thác quá mức làm mực nước giảm xuống dưới mực nước biển gây xâm nhập mặn; và c) Giếng ép nước tạo áp lực khiến mực nước dâng cao trên mực nước biển, ngăn chặn sự xâm nhập của nước biển. (Johnson 2007a)



Trường hợp 7: Tường chắn ngăn mặn (Sơn Đông, Trung Quốc)



Bản đồ 5.7: Bản đồ vị trí Sơn Đông, Trung Quốc và vị trí các đập nước ngầm (Wang và cộng sự, 2012).

Giới thiệu

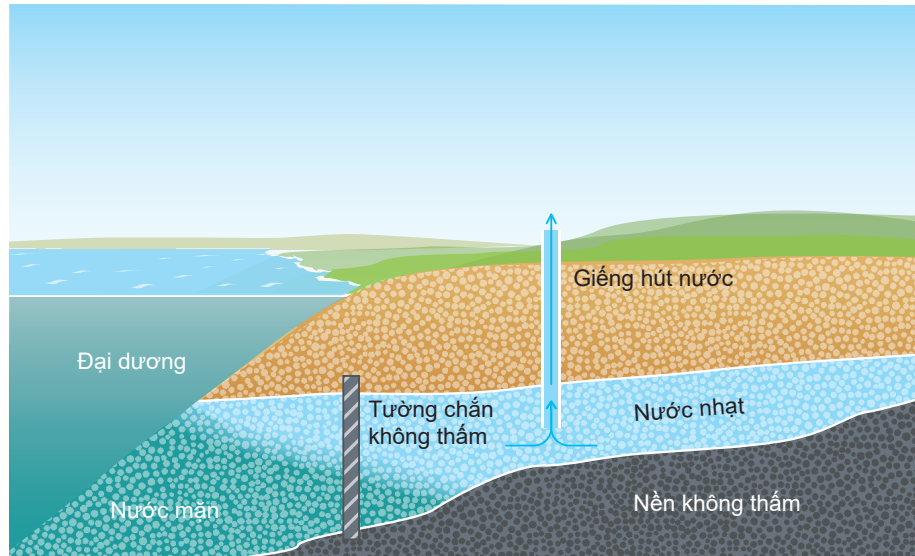
Tỉnh Sơn Đông nằm ở cực nam của Biển Bột Hải trên bờ biển phía đông Trung Quốc. Tỉnh có diện tích 157.100 km², dân số 95 triệu người trong đó khoảng một nửa sống ở các trung tâm đô thị với 12 thành phố trên 1 triệu dân. Nguồn nước chính của tỉnh là nước sông (khoảng 54%) và nước dưới đất (khoảng 44%). 90% lượng mưa phân bố trong thời kỳ gió mùa vào mùa hè, lượng nước trung bình theo đầu người hàng năm nhỏ hơn 320 m³/người, khu vực này được coi là khan hiếm nước (Wu và Tan 2012). Năm 2006, tình trạng thiếu nước chiếm hơn 10% tài nguyên nước hàng năm (Kutzner và cộng sự, 2006). Nền kinh tế đang phát triển dẫn tới nhu cầu tăng lên. Từ những năm 1980, các nguồn nước dưới đất bị sử dụng quá mức gây ra suy giảm mực nước trên một khu vực rộng lớn với diện tích 20.000 km², bao gồm khu vực ven biển, gây ra tình trạng xâm nhập mặn từ nước biển (Monninkhoff và cộng sự, 2010). Như được mô tả trong Phần 5.2, xâm nhập mặn ở trường hợp 3 không chỉ ảnh hưởng đến nguồn cung cấp nước sạch mà còn ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp do đất bị nhiễm mặn.

Công nghệ

Để ngăn chặn xâm nhập mặn của nước biển, tám đập ngầm đã được xây dựng ở khu vực biển Bột Hải. Các tường chắn được xây dựng bằng cách bơm xi măng ở áp suất cao vào lòng đất để tạo ra một bức tường không thấm

nước trên lớp địa chất không thấm nước (Ishida và cộng sự, 2011). Trong khi các đập đóng vai trò là tường chắn ngăn cản sự xâm nhập mặn của nước biển, chúng cũng tạo ra một hồ chứa ngầm đối với nước mưa (Hình 5.8). Các giếng lọc, hào và mương được xây dựng ở thượng nguồn để tăng cường bổ cập cho nước dưới đất.

Hình 5.8: Mặt cắt ngang của một đập ngầm (Ishida và cộng sự, 2011)



Kết quả

Các đập ngầm đã hoạt động hiệu quả trong việc giảm xâm nhập mặn từ nước biển và tăng khả năng cung cấp nước cho địa phương. Đối với hồ chứa ngầm sông Wang gần Lai Châu, nơi một đập ngầm được hoàn thành vào năm 2004, mực nước dưới đất trung bình tăng lên tới 3,3 m, khu vực bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn đã giảm 68% (Wang 2012). Hồ chứa dưới lòng đất có thể lưu trữ hơn 32 triệu m³ nước, giúp tăng cường đáng kể an ninh nguồn nước của khu vực và duy trì một số hoạt động kinh tế và nông nghiệp của tỉnh.

Việc xây dựng các hồ chứa nước dưới đất và tường chắn nước biển đòi hỏi kiến thức và dữ liệu quan trắc địa chất thủy văn tốt. Hơn nữa, dữ liệu tin cậy, dự báo về trữ lượng nguồn nước và nhu cầu nước có ý nghĩa quan trọng trong việc thiết kế và vận hành đập. Một số điều kiện tự nhiên yêu cầu chú ý đặc biệt hoặc cũng có thể không áp dụng được công nghệ trên. Chẳng hạn, trong các tầng chứa nước đá vôi, tường chắn dưới lòng đất có thể làm tăng lưu lượng của nguồn lộ hoặc các hệ thống hang động. Ngoài ra, các tác động về chất lượng nước cũng cần được đánh giá (Ishida và cộng sự, 2011).

6. Nhận xét kết luận

Các vùng duyên hải là ngôi nhà của phần lớn dân số thế giới. Đó cũng là nơi diễn ra các hoạt động kinh tế của thế giới. Nguồn cung nước tinh khiết tạo cơ sở cho sự phát triển tương lai. Nước dưới đất đóng một vai trò quan trọng tại các duyên hải nhưng có nguy cơ bị nhiễm mặn do xâm nhập của nước biển. Nguyên nhân chính là do khai thác quá mức các tầng chứa nước, gây sụt lún nền đất và làm tăng thêm nguy cơ nhiễm mặn. Ngập lụt tại các đới ven biển có địa hình thấp là một nguyên nhân khác gây ra hiện tượng xâm nhập mặn, nguy cơ này có thể tăng lên trong tương lai khi mực nước biển dâng cao.

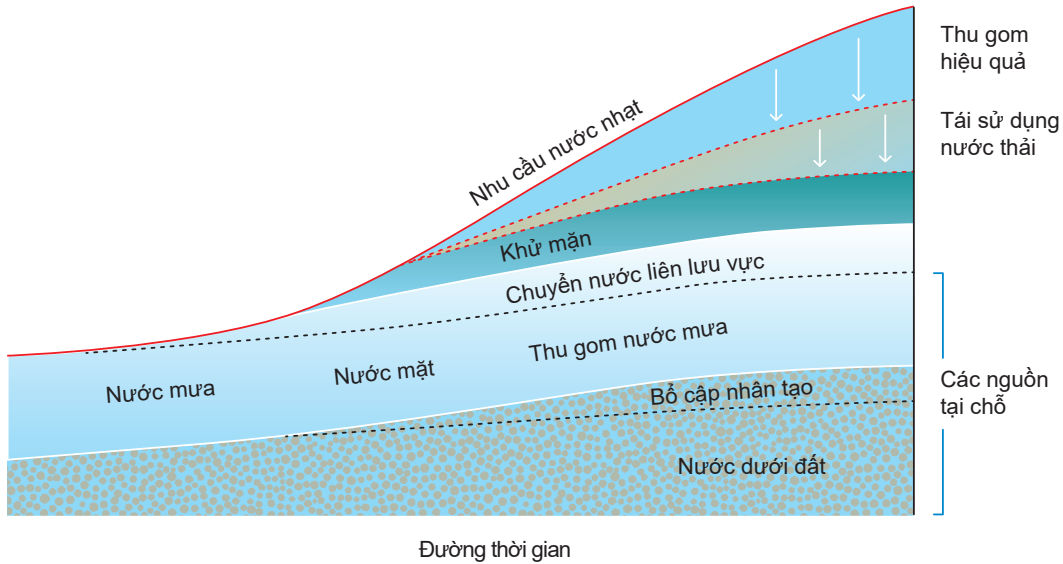
Từ những nội dung trong tài liệu này, có thể thấy rằng, chỉ có quản trị nước dưới đất tốt mới có thể giảm thiểu các mối đe dọa đối với trữ lượng nước nhạt trong các tầng chứa nước ven biển. Điều này trước hết dựa vào kiến thức về các quá trình của nước dưới đất và hiện trạng của tài nguyên nước nhạt, cả hai yếu tố này đều yêu cầu phải thu thập và quản lý dữ liệu mục tiêu bền vững. Một khung thể chế hiệu quả và mạnh mẽ rất cần thiết để điều phối quá trình quan trắc và sử dụng dữ liệu hiện có để phát triển các chính sách và các quy phạm pháp luật. Sự tham gia của tất cả các bên liên quan là điều cần thiết để đảm bảo thành công của các giải pháp đối với các vấn đề quản lý nguồn nước.

Mục tiêu chính của quản lý nguồn nước là luôn giữ cho nhu cầu về nước thấp nhất có thể trong một kịch bản phát triển của khu vực ven biển được quyết định bởi tất cả các tác nhân (Hình 6.1). Do nhu cầu về dân số và lương thực vẫn đang tăng ở hầu hết các khu vực trên thế giới, việc giảm lượng nước sử dụng bình quân theo đầu người và trên mỗi hecta là rất cần thiết. Các bước cơ bản hướng tới sử dụng nước hiệu quả là giám sát hoạt động khai thác nước và đo lường lượng nước tiêu thụ. Các ưu đãi kinh tế như hỗ trợ áp dụng công nghệ tiết kiệm nước trong thủy lợi, sản xuất công nghiệp và hộ gia đình, có thể là công cụ hiệu quả để thúc đẩy tiết kiệm nước. Đồng thời, việc thực thi nghiêm ngặt các giới hạn phân bổ nước là điều kiện tiên quyết.

Nước dưới đất được quản lý tốt góp phần quan trọng trong hoạt động cấp nước ven biển, như được minh họa trong ví dụ về khu vực South Downs, Anh (Phần 5.1, trường hợp 1) và Tarawa, Kiribati (Phần 5.1, trường hợp 2). Công nghệ bổ cập nhân tạo, như công nghệ tinh vi ở Hà Lan (Phần 5.3, trường hợp 5) hoặc các giải pháp tương đối đơn giản như ở Kerala, Ấn Độ (Mục 5.3, trường hợp 4), có thể được thực hiện để dự trữ nước thừa khi có sẵn. Đa dạng hóa các nguồn nước sẽ làm tăng khả năng chống chịu với tình trạng khan hiếm nước. Việc cung cấp bền vững các nguồn nước thay thế phải được thực hiện khi nhu cầu vượt quá nguồn cung của hệ thống tự nhiên. Các nguồn này có thể đa dạng. Khử muối và xử lý nước thải hiện đang được coi là nguồn bổ sung. Kết hợp quá trình khử mặn dùng năng lượng với việc sản xuất năng lượng tái tạo sẽ làm tăng tính bền vững về kinh tế và môi trường của công nghệ này.

Với sự xuất hiện và gia tăng của các siêu đô thị ven biển, việc chuyển nước từ các lưu vực sông khác đã được thực hiện ở một số quốc gia, chẳng hạn như thành phố Thiên Tân, Trung Quốc (Mục 5.2, trường hợp 3). Các chương trình

này thường tốn kém và có thể gây ra các tác động tiêu cực đến môi trường. Tường chắn thủy lực và tường chắn vật lý nhằm ngăn chặn xâm nhập mặn của nước biển có thể bổ sung cho chiến lược quản lý như các ví dụ của Los Angeles (Phần 5.4, trường hợp 6) và khu vực Biển Bột Hải (Phần 5.4, trường hợp 7).



Hình 6.1: Tổng quan về phát triển các lựa chọn cấp nước ven biển

Các yếu tố ảnh hưởng đến tầng chứa nước ven biển rất động và đa dạng. Các biến đổi tự nhiên và nhân khẩu học đang diễn ra cũng đồng nghĩa với việc cần loại bỏ các quá trình quản lý nước cứng nhắc và thay thế bằng các phương pháp tiếp cận thích ứng. Điều này không chỉ nên giới hạn trong ngành nước mà phải vượt qua ranh giới giữa các cơ quan hành chính nhà nước và các ngành hàn lâm. Khoa học sẽ thông tin về các chính sách mới. Khả năng hạn chế của các hệ thống nước dưới đất để đáp ứng nhu cầu về nước đòi hỏi phải suy nghĩ lại về hoạt động cấp nước. Cấp nước do vậy phải dựa trên các giải pháp tiên tiến và đa dạng hóa nguồn nước. Sự sẵn có của nguồn nước nên giữ vai trò định hướng trong phát triển kinh tế và quy hoạch không gian, không chỉ tập trung vào nhu cầu trực tiếp của con người mà còn tập trung vào sức khỏe của các hệ sinh thái. Hành động cân bằng này sẽ là một hành động tinh tế ở nhiều khu vực ven biển, nhưng sẽ phải đối mặt để giải quyết những thách thức do những thay đổi nhanh chóng của thế kỷ 21 mang lại.

Tài liệu tham khảo

African Development Bank (2014): Tracking Africa's Progress in Figures. Tunis: African Development Bank – Statistics Department.

Agència de Turisme de les Illes Balears (2016): El Turisme a les Illes Balears. Anuari 2015. Palma: Conselleria d'Innovació, Recerca i Turisme, Govern de les Illes Balears.

Agencia Andaluza del Agua (2009): Acuíferos del Poniente. Un tesoro bajo tus pies. Sevilla: Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Barlow, M. (2003): Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast. USGS Circular 1262. Reston, VA: USGS.

BGS Geology 625k: Reproduced with the permission of the British Geological Survey. ©NERC. Available at http://www.bgs.ac.uk/products/digitalmaps/DiGMapGB_625.html [Accessed on April 18, 2018]

Bouchaou, L., Michelot, J.L., Vengosh, A., Hsissou, Y., Qurtobi, M., Gaye, C. B., Bullen, T.D. and G. M. Zuppi (2008): Application of multiple isotopic and geochemical tracers for investigation of recharge, salinization, and residence time of water in the Souss–Massa aquifer, southwest of Morocco. In: *Journal of Hydrology* 352 (3-4): 267– 287.

Bray, B. S. and W. W. G. Yeh (2008): Improving seawater barrier operation with simulation optimization in southern California. In: *Journal of Water Resources Planning and Management* 134 (2), 171-180.

Brown, A., Langridge, R. and K. Rudestam (2016): Coming to the Table: Collaborative Governance and Groundwater Decision-Making in Coastal California. In: *Journal of Environmental Planning and Management* 59 (12): 2163–78.

Cap-Net (2010): Groundwater Management in IWRM- Training Manual. Pretoria: Cap-Net/UNDP.

Cardenas, M. B., Bennett, P. C., Zamora, P. B., Befus, K. M., Rodolfo, R. S., Cabria, H. B. and M. R. Lapus (2015): Devastation of aquifers from tsunami-like storm surge by Supertyphoon Haiyan. In: *Geophysical Research Letters* 42 (8): 2844–2851.

Chang, C. (2013): Moving towards 100% recycled water at the Seawater Intrusion Barrier Wells, Central Basin and West Coast Basin. WRD Technical Bulletin 25. Lakewood, CA: WRD.

Choukr-Allah, R., Nghira, A., Hirich, A. and L. Bouchaou (2016): Water Resources Master Plan for Sustainable Development of the Souss-Massa River Basin. In: Choukr-Allah, R., Ragab, R., Bouchaou, L. and D. Barceló (eds.): *The Souss-Massa River Basin, Morocco*: 1-26. Cham: Springer (The Handbook of Environmental Chemistry Series).

Chunmei Y., Jingsheng Y., Fan, Q. and D. Cheng (2000): Seawater intrusion disaster in Longkou City and countermeasures. In: *Shandong Geology* 16 (4): 45-49.

Closas, A. and K.G. Villholth (2016): Aquifer contracts: a means to solving groundwater over-exploitation in Morocco? GRIPP Case Study Series 1. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).

Comte, J.-C., Cassidy, R., Obando, J., Robins, N., Ibrahim, K., Melchioly, S., Mjemah, I., Shauri, H., Bourhane, A., Mohamed, I., Noe, C., Mwega, B., Makokha, M., Join, J.-L., Banton, O. and J. Davies (2016): Challenges in Groundwater Resource Management in Coastal Aquifers of East Africa: Investigations and Lessons Learnt in the Comoros Islands, Kenya and Tanzania. In: *Journal of Hydrology: Regional Studies* 5: 179–99.

Custodio, E., Andreu-Rodes, J. M., Aragón, R., Estrela, T., Ferrer, J., García-Aróstegui, J.L., Manzano, M., Rodríguez-Hernández, L., Sahuquillo, A. and A. del Villar (2016): Groundwater Intensive Use and Mining in South-Eastern Peninsular Spain: Hydrogeological, Economic and Social Aspects. In: *Science of the Total Environment* 559: 302–16.

Custodio, E. and G. A. Bruggeman (1987): Groundwater problems in coastal areas: a contribution to the International Hydrological Programme. Studies and reports in hydrology. Paris: UNESCO.

Dawoud, A. M. (2004): Design of national groundwater quality monitoring network in Egypt. In: *Environmental Monitoring and Assessment* 96 (1-3): 99–118.

Deltares (2015): Sinking cities: An integrated approach towards solutions. Available at: <https://www.deltares.nl/app/uploads/2015/09/Sinking-cities.pdf> [Accessed on July 4, 2016]

Deyà-Tortella, B., Garcia, C., Nilsson, W. and D. Tirado (2016): The effect of the water tariff structures on the water consumption in Mallorcan hotels. In: *Water Resources Research* 52: 6386–6403.

El-Agha, D., Closas, A. and F. Molle (2017): Below the radar: the boom of groundwater use in the central part of the Nile Delta in Egypt. In: *Hydrogeology Journal* 25 (6):1621–1631.

FAO (1997): Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Guidelines for Study, Monitoring and Control. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: FAO.

FAO (2015): Groundwater Governance- a call for action: A Shared Global Vision for 2030. Rome: FAO.

Farid, M. S. (1985): Management of Groundwater System in the Nile Delta. PhD Thesis, Cairo University. Cairo, Egypt.

Ferguson, G. and T. Gleeson (2012): Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. In: *Nature Climate Change* 2: 342–345

Fetter, C. W. (1994): Applied Hydrogeology. New York: Macmillan College Publishing Company.

Galvis-Rodriguez, S., Post, V., Werner, A., Sinclair, P. and A. Bosserelle (2017): Sustainable management of the Bonriki Water Reserve, Tarawa, Kiribati. SPC Technical Report SPC00054. Suva, Fiji: Pacific Community. Available at: <http://caia.gsd.spc.int/index.php/reports> [Accessed on May 31, 2018]

Garing, C., Luquot, L., Pezard, P. A. and P. Gouze (2013): Geochemical investigations of saltwater intrusion into the coastal carbonate aquifer of Mallorca, Spain. In: *Applied Geochemistry* 39 (1): 1-10.

He, X., Xiaoqin, L., Lei, Z and J. Guoping (2006): The Challenge of Managing Groundwater Sustainably: Case Study of Tianjin, China. In: *International Review for Environmental Strategies* 6 (2): 387 – 402.

Hof, A., Blázquez-Salom M., Colom M. C. and A. B. Périz (2014): Challenges and Solutions for Urban-Tourist Water Supply on Mediterranean Tourist Islands: The Case of Majorca, Spain. In: Bhaduri A., Bogardi J., Leentvaar J., Marx S. (eds.): *The Global Water System in the Anthropocene*: 125-142. Cham: Springer (Springer Water).

Hssaisoune, M., Boutaleb, S., Benssaou, M., Beraaouz, E.-H., Tagma, T., El Fasskaoui, M. and L. Bouchaou (2012): Geophysical and structural analysis of the Souss–Massa aquifer: synthesis and hydrogeological implications. In: *Geo Eco Trop.* 36: 63–82.

Hu, B., Zhou, J., Wang, J., Chen, Z., Wang, D., and S. Xu (2009): Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China. In: *Environmental Earth Sciences* 59 (2), 269-276.

HydroMetrics (2008): Seawater Intrusion Response Plan Seaside Basin. Monterey County, California.

IGES (2007): Sustainable groundwater management in Asian cities: A summary report of Research on sustainable water management in Asia. Freshwater Resources Management Project. Hayama: IGES. Available at: http://pub.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/981/attach/00_complete_report.pdf [Accessed on May 21, 2014].

IGRAC (2012): Saline and brackish groundwater at shallow/intermediate depths. Genesis and World-wide Occurrence. Paper presented at the *39th IAH Conference*, Niagara Falls, Canada, September 16-21, 2011.

IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Edited by Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge / New York: Cambridge University Press.

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley Cambridge / New York: Cambridge University Press.

Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S. and M. Imaizumi (2011): Sustainable use of groundwater with underground dams. In: *Japan Agricultural Research Quarterly* 45 (1): 51-61.

Johnson T. (2007a): Technical Documents on Groundwater and Groundwater Monitoring Battling Seawater Intrusion in the Central and West Coast Basins. WRD Technical Bulletin 13. Available at: http://www.wrd.org/engineering/reports/TB13_Fall07_Seawater_Barriers.pdf [Accessed on May 14, 2014]

Johnson T. (2007b): Will climate change affect groundwater in the central and west coast basins? WRD Technical Bulletin 10. Available at: http://www.wrd.org/engineering/reports/TB10_Winter_2007_Climate_Change.pdf [Accessed on May 14, 2014]

Johnson, T. and T. Kirk (2012): Southern California meets water demands and controls saltwater intrusion. Application Note. Available at: <https://in-situ.com/wp-content/uploads/2014/11/Aquifer-Recharge-Southern-California-Meets-Water-Demands-and-Controls-Saltwater-Intrusion-by-Using-Level-TROLL-500-Instruments.pdf> [Accessed on May 22, 2018]

Johnson, T. A. and R. Whitaker (2004): Saltwater intrusion in the coastal aquifers of Los Angeles County, California. In: Cheng, A.H. and D. Ouazar (eds.): *Coastal Aquifer Management-Monitoring, Modeling, and Case Studies*: 29-48. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

Jones, H. K. and N. S. Robins (eds.) (1999): National Groundwater Survey. The Chalk aquifer of the South Downs. British Geological Survey - Hydrogeological Report Series. Keyworth, Nottingham: BGS.

Kamps, P., Nienhuis, P., Van den Heuvel, D. and H. De Joode (2016): Monitoring Well Optimization for Surveying the Fresh/Saline Groundwater Interface in the Amsterdam Water Supply Dunes. Proceedings of the 24th Salt Water Intrusion Meeting and the 4th Asia-Pacific Coastal Aquifer Management Meeting, 4 –8 July 2016, Cairns, Australia.

Karim, T., Von Igel, W., Escobar Soler, M. and L. Candela (2008): Analysis of water use patterns and conflicts in the Sa Pobla Plain and Alcudia Bay (Majorca, Spain). In: El Moujabber, M., Shatanawi, M., Trisorio-Liuzzi, G., Ouessar, M., Laureano, P., Rodríguez, R. (eds.): *Water culture and water conflict in the Mediterranean area*: 131-142. Bari: CIHEAM (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 83)

Kataoka, Y. (2010): Water Resource Management in Asian Cities–Case Studies of Groundwater Management. In: Sumi, A., Fukushi, K., Honda, R. and K. M. Hassan (eds.): *Sustainability in Food and Water*: 19-27. Dordrecht: Springer Netherlands.

Kooi, H. and J. Groen (2003): Geological processes and the management of groundwater resources in coastal areas. In: *Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw* 82 (1): 31-40.

Kutzner, R., Zhang, B., Kaden, S. and W. Geiger (2006): Sustainable and integrated water resources management for the coastal areas of Shandong Province, China. In: *Water Science & Technology* 54 (11-12): 57-64.

KWR: Freshmaker test in Ovezande. Available at: <http://www.kwrwater.nl/freshinsalt/ovezande/> [Accessed on April 29, 2014]

Leaven, M. T. (1991): Hydrogeological study of the Nile Delta and adjacent desert areas, Egypt, with emphasis on hydrochemistry and isotope hydrology. M.Sc. thesis, Free University, Amsterdam. Also published by RIGW/IWACO (Egypt) as Technical note TN 77.01300-91-01.

López-García, J. M. and R. M. Mateos Ruíz (2003): La intrusión marina en los acuíferos de la isla de mallorca (Seawater intrusion into the aquifers of the island Mallorca). In: López-Geta, J. A., de Dios Gómez, J., de la Orden, J.A., Ramos, G. and L. Rodríguez (eds.): *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*: 383- 392. Madrid: IGME.

Mabrouk, M. B., Jonoski, A., Solomatine, D. and S. Uhlenbrook (2013): A review of seawater intrusion in the Nile Delta groundwater system—the basis for assessing impacts due to climate changes and water resources development. In: *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 10 (8): 10873-10911.

Mechlem, K. (2016): Groundwater Governance: The Role of Legal Frameworks at the Local and National Level – Established Practice and Emerging Trends. In: *Water* 8 (8): 347.

Michael, H. A., Post, V. E. A., Wilson, A. M. and A. D. Werner (2017): Science, society, and the coastal groundwater squeeze. In: *Water Resources Research* 53 (4): 2610–2617.

Milano, M., Ruelland, D., Fernandez, S., Dezetter, A., Fabre, J., Servat, E. Fritsch, J.-M., Ardoin-Bardin, S. and G. Thivet (2013): Current state of Mediterranean water resources and future trends under climatic and anthropogenic changes. In: *Hydrological Sciences Journal* 58 (3): 498-518.

Moench, M., Kulkarni, H. and J. Burke (2015): Trends in local groundwater management institutions. Thematic Paper 7 / Groundwater Governance – A Global Framework for Action. Rome: FAO.

Molle, F., Gaafar, I., Ezzat El-Agha, D. and E. Rap (2016): Irrigation Efficiency and the Nile Delta Water Balance. Water and salt management in the Nile Delta: Report No.9. Cairo: Australian Center for International Agricultural Research/ Water Management Research Institute/ International Water Management Institute.

Monninkhoff, L. (2010): Overall-effective measures for integrated water resources management in the coastal area of Shandong Province, China. In: Streusloff, H. (ed.): *Integrated Water Resources Management Karlsruhe 2010: IWRM, International Conference, 24 - 25 November 2010 conference proceedings*: 107-113. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.

Nordpil CC-0: Urban Areas Datasets by Hugo Ahlenius, with data from the UN Population Division and World Urbanization Prospects, 2007 Revision. Available at: <http://nordpil.com> [Accessed on March 7, 2018]

Nelson, R. L. (2012): Assessing Local Planning to Control Groundwater Depletion: California as a Microcosm of Global Issues. In: *Water Resources Research* 48 (1): W01502.

Neumann B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J. and R. J. Nicholls (2015): Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. In: PLoS ONE 10(3): e0118571.

New, M., Lister, D., Hulme, M. and I. Makin (2002): A high-resolution data set of surface climate over global land areas. In: *Climate Research* 21 (1): 1-25.

NITI and UNDP (2015): The resource book on good practices in social sector service delivery. New Dehli: NITI Aayog, UNDP. Available at: <http://www.undp.org/content/dam/india/docs/SSS-2015.pdf> [Accessed on April 19, 2016]

Oude Essink G. H. P., van Baaren, E. S., de Louw, P. G. B., Delsman, J., Faneca, M. and P. Pauw (2012): Climate proof fresh ground water supply: an adaptive water management strategy with regional impact. Utrecht: Deltares, Subsurface and Groundwater Systems.

Pahl-Wostl, C., Newig, J. and D. Ridder (2007): Linking Public Participation to Adaptive Management. In: *Quevauviller, P. (ed.): Groundwater Science and Policy. An International Overview*: 150-173. Cambridge: RSC Publishing.

Pereira K. and R. Ratnayake (2013): Water integrity in action: Curbing illegal sand mining in Sri Lanka. Berlin: Water Integrity Network. Available at: http://www.waterintegritynetwork.net/wp-content/uploads/2015/04/Case_SriLanka_SandMining_EN_2013.pdf [Accessed on May 31, 2016]

Piyadasa, R. U. K. and C. M. Naverathna (2008): River Sand Mining in Southern Sri Lanka and its Effect on Environment. Paper presented at the 11th International River symposium on “A Future of Extremes”, Brisbane, Australia. Available at: <http://archive.riversymposium.com/index.php?element=PIYADASA> [Accessed on May 31, 2016]

Planning Commission- Government of India (2008): Kerala Development Report. New Delhi: Academic Foundation.

Post, J. C. and C. G. Lundin (eds.) (1996): Guidelines for integrated coastal zone management. Washington D.C.: World Bank.

Raphael J. C. (2014): Mazhapolima “Rain Bounty” Well Recharge Program through Roof Water Harvesting: A Case from Kerala. Thrissur, India.

Reuters World News, May 30, 2016: 'Tourists go home': Spain tourism surge brings backlash, by S. White. Online available at: <https://www.reuters.com/article/us-spain-tourism/tourists-go-home-spain-tourism-surge-brings-backlash-idUSKCN0YL0EZ> (Accessed on March 10, 2018)

Robins, N. S. and L. T. Dance (2003): A new conceptual groundwater-flow system for the central South Downs aquifer. In: *Water and Environment Journal*, 17 (2): 111-116.

Robins, N. S., Jones, H. K. and J. Ellis (1999): An aquifer management case study—the chalk of the English South Downs. In: *Water Resources Management* 13 (3): 205-218.

Sappa, G. and G. Luciani (2014): Groundwater management in Dar Es Salam coastal aquifer (Tanzania) under a difficult sustainable development. In: *WSEAS Transactions on Environment and Development* 10: 465-477.

Sherif, M. M., Sefelnasr, A. and A. Javad (2012): Incorporating the concept of equivalent freshwater head in successive horizontal simulations of seawater intrusion in the Nile Delta aquifer, Egypt. In: *Journal of Hydrology* 464-465: 186-198.

Shi, L. and J. J. Jiao (2014): Seawater intrusion and coastal aquifer management in China: a review. In: *Environmental Earth Sciences* 72 (8): 2811–2819.

Siebert, S., Henrich, V., Frenken, K. and J. Burke (2013): Global Map of Irrigation Areas version 5. Bonn / Rome: Rheinische Friedrich-Wilhelms-University / FAO.

Siemon, B. and A. Steuer (2011): Airborne Geophysical Investigation of Groundwater Resources in Northern Sumatra after the Tsunami of 2004. In: Märner, N.-A. (ed.): *The Tsunami Threat - Research and Technology*. Rijeka: InTech.

Skinner, J. and A. Walnycki (2016): Dar es Salaam's water supplies need stronger, more flexible management to meet SDG6. IIED Briefing Papers. London: IIED.

Song, X., Kong, F. and C. Zhan (2011): Assessment of Water Resources Carrying Capacity in Tianjin City of China. In: *Water Resources Management* 25 (3): 857-873.

Syvitski, J. P., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R. and R. J. Nicholls (2009): Sinking deltas due to human activities. In: *Nature Geoscience* 2 (10): 681-686.

UNEP (2016): Options for Ecosystem-based Adaptation (EBA) in Coastal Environments: A Guide for environmental managers and planners. Nairobi: UNEP.

USGS (2016) Land Subsidence. The USGS Water Science School. Available at: <http://water.usgs.gov/edu/earthgwlandsubside.html> [Accessed on July 4, 2016]

Van Steenbergen, F., A. Kumsa and N. Al Awlaki (2015): Understanding political will in groundwater management: Comparing Yemen and Ethiopia. In: *Water Alternatives* 8 (1): 774-799.

van Weert, F., van der Gun, J. and J. Reckman (2009): Global Overview of Saline Groundwater Occurrence and Genesis. Report no. GP 2009-1. Utrecht: IGRAC.

Veraart, J.A., van Duinen, R. and J. Vreke (2017): Evaluation of Socio-Economic Factors that Determine Adoption of Climate Compatible Freshwater Supply Measures at Farm Level: a Case Study in the Southwest Netherlands. In: *Water Resources Management* 31 (2): 587–608.

Villholth, K. G. and B. Neupane (2011): Tsunamis as Long-Term Hazards to Coastal Groundwater Resources and Associated Water Supplies. In: Mokhtari, M. (ed.): *Tsunami – A Growing Disaster*. Rijeka: InTech.

Vink, K., Rambags, F. and N. Gorski (2010): Freshmaker: Technologie voor een duurzame zoetwatervoorziening. Report KWR2010.076. Nieuwegein: KWR Watercycle Research Institute.

Wang, K.; Li, B.; Yu, Q. and J. Wang (2012): The construction of underground reservoir and its beneficial effect on resource and environment in Shandong Province Peninsula. In: China Geological Survey – Achievements. Available at: http://en.cgs.gov.cn/achievements/201601/t20160112_35475.html [Accessed on February 20, 2018]

Weerasekera, D. (2014): Digging for development: the hidden cost of sand illegal mining. IWMI Lindha Langa Blog. Available at: <http://www.iwmi.cgiar.org/2014/05/digging-for-development/> [Accessed on June 29, 2017]

Werner, A. D., Alcoe, D. W., Ordens, C. M., Hudson, J. L., Ward, J. D. and C. T. Simmons (2011): Current Practice and Future Challenges in Coastal Aquifer Management: Flux-Based and Trigger-Level Approaches with Application to an Australian Case Study. In: *Water Resources Management* 25 (7): 1831–1853.

White, I. and T. Falkland (2010): Management of freshwater lenses on small Pacific islands. In: *Hydrogeology Journal* 18 (1): 227–246.

White, E. and D. Kaplan (2016): Restore or retreat? Saltwater intrusion and water management in coastal wetlands. In: *Ecosystem Health and Sustainability* 3 (1): e01258.

World Bank (2003): Stakeholder Participation in Groundwater Management. GW-Mate Concept Note Series 6.

WRD (2017): Engineering Survey and Report 2017. Lakewood, CA: Water Replenishment District of Southern California. Available at: <http://www.wrd.org/sites/pr/files/WRD%20ESR%20Updated%20April%2027%202017.pdf> [Accessed on February 23, 2018]

Wu, P., and M. Tan (2012): Challenges for sustainable urbanization: a case study of water shortage and water environment changes in Shandong, China. In: *Procedia Environmental Sciences* 13: 919-927.

Xu, Y. S., Zhang, D. X., Shen, S. L. and L. Z. Chen (2009): Geo-hazards with characteristics and prevention measures along the coastal regions of China. In: *Natural Hazards* 49 (3): 479–500.

Zekri, S. (2009): Controlling groundwater pumping online. In: *Journal of Environmental Planning* 90 (11): 3581–3588.

Zhang, X. H., Zhang, H.W., Chen, B., Chen, G.Q. and X. H. Zhao (2008): Water resources planning based on complex system dynamics: a case study of Tianjin city. In: *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 13 (10): 2328–2336.

Zhang, C.; Dong, L.; Liu, Y. and H. Qiao (2016): Analysis on Impact Factors of Water Utilization Structure in Tianjin, China. In: *Sustainability* 8 (3): 241.

Zuurbier, K. G., Stuyfzand, P. J. and J. W. Kooiman (2013a): The Freshmaker: enabling aquifer storage and recovery (ASR) of freshwater using horizontal directional drilled wells (HDDWs) in coastal areas. Paper presented at *International symposium on managed aquifer recharge (ISMAR) 8*, 13 - 18 October 2013, Beijing, China.

Zuurbier, K. G., Bakker, M., Zaadnoordijk, W. J. and P. J. Stuyfzand (2013b): Identification of potential sites for aquifer storage and recovery (ASR) in coastal areas using ASR performance estimation methods. In: *Hydrogeology Journal* 21 (6): 1373-1383.

Zuurbier, K. G., Kooiman, J. W., Groen, M. M., Maas, B. and P. J. Stuyfzand (2014): Enabling successful aquifer storage and recovery (ASR) of freshwater using horizontal directional drilled wells (HDDWs) in coastal aquifers. In: *Journal of Hydrologic Engineering* 20 (3): B4014003.

Tài liệu tham khảo dữ liệu không gian

Roads, country boundaries, bathymetry: Natural Earth; *Urban areas:* Hugo Ahlenius, Nordpil, <http://nordpil.com> with data from the UN Population Division and World Urbanization Prospects, 2007 Revision; *US State boundaries:* GADM – <http://gadm.org/>; *Elevation data:* ASTER GDEM 2 (*regional scale*) / Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second (*Global scale*) – ASTER GDEM is a product of METI and NASA. Data available from the U.S. Geological Survey.

Các nguồn bổ sung được trích dẫn đặc biệt trong các bản đồ.

