

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

NGUYỄN THỊ THANH HOA

**XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN TƯƠNG TÁC NƯỚC MẶT -
NƯỚC NGẦM VÀ ÁP DỤNG THỬ NGHIỆM CHO KHU VỰC ĐỒI
CÁT VEN SÔNG LỬ, HUYỆN BẮC BÌNH, TỈNH BÌNH THUẬN**

Ngành: Kỹ thuật tài nguyên nước
Mã số ngành: 9580212

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2024

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS.TS LÊ SONG GIANG

Người hướng dẫn 2:

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết của Luận án

Để giải quyết khan hiếm nước, cần tìm nguồn nước mới, quản lý hiệu quả và tiết kiệm nước. Tăng cường sử dụng nước ngầm là một biện pháp quan trọng. Đánh giá lượng bổ cập nước ngầm là yếu tố then chốt để quản lý và khai thác bền vững. Mô hình toán giúp tính toán tốc độ bổ cập nước ngầm và mô phỏng tương tác nước mặt - nước ngầm, xử lý dòng chảy trong cả hai môi trường bão hòa và không bão hòa.

Nước chiếm 70% diện tích bề mặt trái đất, nhưng chỉ 0,3% là nước sử dụng được. Nhu cầu nước ngày càng tăng trong khi nguồn nước sạch giảm do hoạt động của con người. Việt Nam cũng gặp phải tình trạng này, đặc biệt là tỉnh Bình Thuận. Khu đồi cát Nam sông Lũy, huyện Bắc Bình, với diện tích hơn 700 km², có tiềm năng nước ngầm quan trọng. Nhiệm vụ đặt ra cho Luận án là phát triển một chương trình máy tính mới cho phép tính toán tương tác nước mặt – nước ngầm để phục vụ tính toán bổ cập. Chương trình tính toán mới sẽ được phát triển để đảm bảo tốc độ tính toán nhưng việc kết nối các dòng chảy phải đảm bảo bảo toàn khối lượng. Từ chương trình máy tính đã phát triển, một bài tính toán thử nghiệm đánh giá năng lực bổ cập nước ngầm từ nước mưa cho khu vực đồi cát Nam sông Lũy, huyện Bắc Bình, Bình Thuận sẽ được thực hiện.

2. Tính mới của đề tài

Luận án đã phát triển một chương trình máy tính để tính toán mô hình tương tác nước mặt - nước ngầm trong ba lớp tương đương ở quy mô lưu vực. Lớp dòng chảy nước mặt sử dụng phương trình Saint-Venant 2D đơn giản hóa, lớp dòng chảy nước ngầm không bão hòa sử dụng phương trình Richards 1D, và lớp dòng chảy nước ngầm bão hòa sử dụng phương trình Boussinesq 2D. Các lớp này được kết nối chính xác theo nguyên lý bảo toàn khối lượng. Chương trình đã được áp dụng thử nghiệm để đánh giá khả năng biến động nguồn nước ngầm ở khu vực đồi cát Nam sông Lũy.

3. Mục tiêu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Mục tiêu

Xây dựng chương trình máy tính cho phép xây dựng mô hình tính toán tương tác nước mặt – nước ngầm ở quy mô lưu vực trong đó có xét đến dòng chảy trên mặt, dòng chảy nước ngầm trong đới không bão hòa và dòng chảy nước ngầm trong đới bão hòa và tương tác giữa các dòng này. Từ đó ứng dụng mô hình đã xây dựng để tính toán thử nghiệm khả năng gia tăng nguồn nước ngầm ở khu vực đồi cát Nam sông Lũy, huyện Bắc Bình, Tỉnh Bình Thuận.

3.2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: dòng chảy ở quy mô lưu vực bao gồm dòng mặt và dòng ngầm.

- Phạm vi nghiên cứu: Dòng chảy: Dòng tràn trên mặt do mưa; và Dòng ngầm trong tầng không áp; Không gian: Quy mô lưu vực; Bỏ cập nước ngầm: Chỉ xét bỏ cập tự nhiên do mưa

4. Nội dung nghiên cứu chính của Luận án:

- Nội dung 1: Tổng quan về mô hình tính toán trong quản lý tài nguyên nước, bao gồm mô hình toán cho dòng chảy nước mặt, dòng chảy nước ngầm và các mô hình tích hợp. Từ đó, phân tích và đánh giá tổng quan để hình thành hướng nghiên cứu và phát triển cho Luận án.

- Nội dung 2: Xây dựng hai chương trình tính toán BLUE1D và BLUE3D. Mô hình 1D (BLUE1D) trên phương thẳng đứng được xây dựng ở bước đầu tiên, và làm tiền đề cho việc phát triển mô hình 3D (BLUE3D).

- Nội dung 3: Ứng dụng thử nghiệm phần mềm BLUE3D cho khu đồi cát Nam sông Lũy để tính toán quá trình bỏ cập nước ngầm từ nước mưa, có xét đến tương tác với nước mặt.

5. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp phân tích - tổng hợp có chọn lọc thông tin; Phương pháp khảo sát thực địa; Phương pháp thí nghiệm hiện trường; Phương pháp lập trình đối tượng, Phương pháp mô hình toán số;

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của Luận án

Từ kết quả nghiên cứu, Luận án cho ra đời 2 công cụ tính toán mới (BLUE1D và BLUE3D). Các kết quả kiểm tra, tính toán thử nghiệm và đối sánh với các phần mềm thương mại uy tín minh chứng khả năng mô phỏng tính toán của BLUE1D và BLUE3D là khả thi trong ứng dụng thực tiễn. Nghiên cứu Luận án đã có một đóng góp nhỏ có ý nghĩa khoa học là đã góp phần hoàn thiện phương pháp tính toán dòng chảy nước mặt và nước ngầm ở quy mô lưu vực.

8. Cấu trúc của Luận án

Bố cục Luận án gồm: Phần Mở đầu; Chương 1. Tổng quan về mô hình tính toán trong quản lý tài nguyên nước; Chương 2. Xây dựng chương trình tính toán; Chương 3. Ứng dụng tính toán dòng chảy nước ngầm khu đồi Cát nam sông lũy, Huyện Bắc Bình, Bình Thuận; Kết luận và kiến nghị.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH TÍNH TOÁN TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN NƯỚC

1.1. Mô hình toán trong bài toán tài nguyên nước

Hiện nay, mô hình toán đang trở thành xu hướng quan trọng trong quản lý nguồn tài nguyên nước, nhờ vào tính khoa học, khách quan và khả năng dự báo cao. Các nghiên cứu tập trung vào đánh giá đa dạng của các mô hình toán học trong quản lý tài nguyên nước, đồng thời hỗ trợ việc sử dụng chúng một cách hợp lý và bền vững. Cụ thể, các phần mềm như MIKE SHE, MIKE 11, MOHID Land, GSFLOW, MOBIDIC-MODFLOW, PERFECT-GWlag đã được áp dụng để xây dựng mô hình toán cho nghiên cứu về thủy lực, thủy văn, và tương tác giữa nước mặt và nước ngầm ở các vùng đồng bằng và lưu vực sông trên khắp thế giới.

1.2. Mô hình thủy văn

1.2.1. Nguyên lý tính toán

Nguyên lý cân bằng nước xuất phát từ định luật bảo toàn vật chất, đối với một lưu vực có thể phát biểu như sau: "*Hiệu số lượng nước đến và ra khỏi lưu vực bằng sự thay đổi lượng nước trên lưu vực đó trong một thời đoạn tính toán bất kỳ*".

1.2.2. Các mô hình thủy văn thông dụng

Một số phần mềm tính toán thủy văn thông dụng được giới thiệu trong Bảng I.1

Bảng I.1 Các mô hình thủy văn thông dụng

HEC-HMS (1968)	Các tính toán mới bao gồm đánh giá đường quá trình liên tục trong thời kỳ dài và ước lượng dòng chảy phân bố trên ô lưới lưu vực. Tính toán liên tục có thể sử dụng bể chứa đơn giản biểu thị độ ẩm đất hoặc mô hình phức tạp với 5 bể chứa, bao gồm sự trữ nước tầng trên cùng, sự trữ nước trên bề mặt, trong lớp đất và trong hai tầng ngầm. Dòng chảy phân bố không gian được tính toán thông qua phương pháp chuyển đổi phi tuyến Mod Clark.
SWAT (1990)	Mô hình này dự báo tác động của quản lý đất đối với nước, quá trình bồi lắng và lượng hóa chất phát sinh từ nông nghiệp trên các lưu vực lớn trong thời gian dài. Mô-đun chính của mô hình là mô phỏng dòng chảy từ mưa và các thuộc tính vật lý trên lưu vực. SWAT được sử dụng rộng rãi để đánh giá tiềm năng nước, kiểm soát xói mòn đất, giám sát quá trình ô nhiễm, và đánh giá tác động của biến đổi khí hậu.
TANK (1956)	Cấu trúc gồm 4 bể chứa, bể chứa bề mặt (Tank A), bể chứa trung gian (Tank B), bể chứa sát đáy (Tank C) và bể chứa đáy (Tank D). Trong đó Dòng chảy lưu vực Q được tính bằng tổng dòng chảy từ các cửa bên của các bể Tank

SSARR (1956)	Có thể sử dụng cho các lưu vực có diện tích tương đối lớn, quan điểm của mô hình hệ thống sông ngòi dù phức tạp cũng bao gồm các yếu tố cơ bản sau: Các lưu vực sông nhỏ, các hồ chứa tự nhiên và nhân tạo, các đoạn sông. Sử dụng hai phương trình cơ bản là phương trình liên tục và phương trình trữ lượng.
WETSPASS (1966)	Phân bố không ổn định theo lưới ô vuông. Mỗi ô vuông của mô hình theo chiều thẳng đứng được phân thành 4 lớp và đối như sau: lớp thực vật, lớp đất thổ nhưỡng, đới truyền dẫn và đới bão hòa. Sử dụng dữ liệu đầu vào gồm chuỗi số liệu về các thông số khí tượng như lượng mưa, bốc hơi tiềm năng và nhiệt độ, địa hình (DEM) thông tin về lớp phủ thực vật, loại đất,...
FRASC (2010)	Đầu vào các thông số lấy trung bình hóa trong không gian lưu vực, sau đó lưu vực được rời rạc hóa thành các phần tử bởi ma trận lưới ô vuông từ DEM. Các quá trình thủy văn trong mỗi ô lưới được xem như một lưu vực nhỏ có chức năng và độc lập của số liệu đầu vào về mặt lý thuyết có thể định nghĩa và đo được

1.3. Mô hình thủy lực

1.3.1 Nguyên lý tính toán

Mô hình thủy lực, khác biệt với mô hình thủy văn, cho phép chi tiết hóa tính toán dòng chảy bằng cách giải các phương trình vi phân dựa trên nguyên lý vật lý. Đặc điểm này làm cho mô hình thủy lực trở nên chuyên biệt cho từng loại dòng chảy. Có hai loại chính là mô hình dòng chảy nước mặt và mô hình dòng chảy nước dưới đất. Tùy thuộc vào đặc điểm không gian của dòng chảy, mô hình thủy lực được phân loại thành mô hình một chiều (1D), hai chiều (2D) hoặc ba chiều (3D).

1.3.2. Mô hình dòng chảy nước mặt

Dòng chảy nước mặt 1D, 2D và 3D được mô tả bằng các phương trình vi phân xuất phát từ nguyên lý cơ học. Tính đến thời điểm hiện tại, giải các phương trình cơ bản này chỉ khả thi thông qua các phương pháp toán số, với ba phương pháp chính là sai phân hữu hạn, phần tử hữu hạn và thể tích hữu hạn đưa ra các giải pháp ý nghĩa và ứng dụng. Một số phần mềm cụ thể đã được giới thiệu trong Bảng 1.2.

Bảng 1.2: Các phần mềm tính toán dòng chảy nước mặt

TT	Tên phần mềm	Tác giả	Yêu cầu trong việc sử dụng	Bài toán		
				1D	2D	3D
	Nước ngoài					
1	MIKE	Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI)	- Cần phần cứng mạnh để chạy mô hình phức tạp. - Tính ổn định của mô hình tích hợp từ các mô hình còn chưa tốt.	x	x	x

2	SOBEK	Viện thủy lực Delft - Hà Lan (Deltares)	- Không mô phỏng 3D. - Khá khó khăn để sử dụng cho người mới bắt đầu.	x	x	
3	HEC-RAS	Trung tâm Thủy văn Công trình thuộc (Cục Kỹ thuật Quân đội Mỹ)	- Giao diện người dùng cổ điển. - Chưa hỗ trợ hỗ trợ đầy đủ các mô hình thủy lực phức tạp	x	-	-
4	TELEMAC	Trung tâm quốc gia nghiên cứu Thủy lực của Điện Lực Pháp	- Hiệu suất phụ thuộc vào cấu hình phần cứng. - Giao diện không thân thiện.	-	x	x
5	QUAL-2K	Steve Chapra và Greg Pelletier, đại học Tufts và Trung tâm Mô hình CLN, Cục Bảo vệ Môi trường Mỹ	- Chủ yếu mô phỏng chất lượng nước trong 1D. - Giới hạn trong việc mô phỏng các quá trình vật lý theo cả không gian và thời gian	x	-	-
6	DUFLOW	Viện Quốc tế về Kỹ thuật cơ sở hạ tầng, thủy lợi và môi trường (IHE), ĐH Công nghệ Delft và Cục công trình công cộng	- Yêu cầu nhiều bước thủ công trong quá trình thiết lập mô hình	x	x	-
7	Delft 3D	DELTA RES (HÀ LAN)	- Giao diện phức tạp và yêu cầu phần cứng cao.	-	x	x
Trong nước						
8	KOD	Nguyễn Ân Niên	Mô phỏng mô hình hóa 1D, khó tích hợp với các mô hình hay công cụ khác	x	-	-
9	VRSAP	Nguyễn Như Khuê		x	-	-
10	DELTA, SAL	Nguyễn Tất Đắc		x	-	-
11	HydroGIS	Nguyễn Hữu Nhân		x	-	-
12	MEKOGIS	Nguyễn Hữu Nhân		x	-	-
13	F28	Lê Song Giang		- Giao diện khá thân thiện và có nhiều công cụ hỗ trợ biên tập dữ liệu. - Mô hình tích hợp từ các mô hình con có tính ổn định khá cao. - Hạn chế trong giao diện đồ họa.	x	x

1.3.2. Mô hình dòng chảy nước dưới đất

Dòng chảy của nước dưới đất được chia thành dòng chảy trong các đới không bão hòa và bão hòa. Các phương trình mô tả cho dòng chảy nước dưới đất đều xuất phát từ phương trình bảo toàn khối lượng, kết hợp với định luật thấp Darcy. Các phần mềm thông dụng được giới thiệu trong Bảng 1.3.

Bảng 1.3 Các phần mềm tính toán mô phỏng dòng chảy nước dưới đất.

TT	Tên phần mềm	Mô tả	Yêu cầu trong việc sử dụng	Bảo hòa			Không bảo hòa		
				1D	2D	3D	1D	2D	3D
1	MODFLOW	Mô hình mô phỏng dòng chảy trong đới bão hòa, có thể kết hợp với modul lan truyền và modul mô tả lan truyền bằng các hạt	- Khó sử dụng đối với người mới bắt đầu. - Đòi hỏi nguồn dữ liệu đầu vào chính xác			✓			
2	HYDRUS	Mô hình phần tử hữu hạn để mô phỏng chuyển động của nước, nhiệt và chất hòa tan trong môi trường bão hòa thay đổi.	Tốn nhiều tài nguyên tính toán, do đó sẽ gặp khó khăn về hiệu suất tăng cao.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	MT3D	Mô hình số mô phỏng sự lan truyền vật chất trong nước dưới đất. Có thể kết hợp với MODFLOW	MT3D không tự mô phỏng dòng chảy nước dưới đất mà phụ thuộc vào các kết quả dòng chảy từ mô hình khác, thường là MODFLOW			✓			✓
4	3DFEMFAT	Mô hình vận chuyển chất và dòng chảy nước dưới đất.	- Khó sử dụng và thiết lập mô hình - Yêu cầu nhiều dữ liệu chi tiết			✓			✓
5	CHEMFLO	Mô phỏng vận chuyển của ionic và các chất trong đới thông khí.	- Giới hạn ở đới thông khí, không xử lý các vấn đề liên quan đến dòng chảy và vận chuyển chất trong điều kiện bão hòa. - Khó khăn khi mô phỏng bài toán có điều kiện đầu rất phức tạp hoặc không đồng nhất.				✓	✓	
6	MARTHE	Mô hình mô phỏng quá trình vận chuyển của nước dưới đất trong các tầng	- Phức tạp trong việc thiết lập và chạy mô hình - Cần nhiều dữ liệu đầu vào		✓	✓			

		chứa nước trong dưới tác động của khí hậu và các quá trình địa hóa.							
7	TOUGH	Mô hình dòng chảy và lan truyền chất trong nước dưới đất trong đới không bão hòa	- Khó sử dụng cho người mới bắt đầu. - Yêu cầu kiến thức chuyên sâu và tài nguyên tính toán lớn			✓			
8	RETC-WIN	Mô hình ước tính đường cong giữ nước của đất, độ dẫn thủy lực không bão hòa hoặc các thông số mô hình đất.	- Không được cập nhật và nâng cấp. - Khả năng tích hợp hạn chế với các phần mềm hay công cụ khác với những mô phỏng đòi hỏi tính linh hoạt và có quy mô lớn	✓					
9	PFLOTTRAN	Mô hình mã nguồn mở dòng chảy nước dưới đất, trong các khe nứt, đứt gãy với các điều kiện phản ứng thủy địa hóa	- Giao diện được sử dụng qua dòng lệnh, điều này có thể gây khó khăn cho người dùng. - Khả phức tạp và yêu cầu tài nguyên tính toán lớn, máy tính hiệu suất cao.			✓			✓
10	VS2DT	Mô hình dòng chảy và vận chuyển các chất trong đới không bão hòa.	- Hạn chế ở khả năng mô phỏng các điều kiện phức tạp. - Thiếu giao diện đồ họa và giới hạn hiệu suất tính toán với mô hình lớn.					✓	

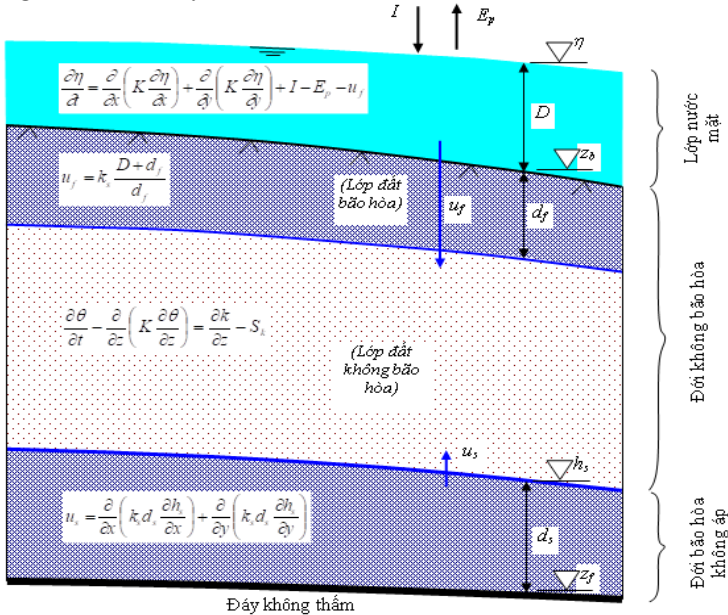
1.4. Mô hình tích hợp

Nguyên lý tính toán các mô hình thủy văn và thủy lực được phân loại theo môi trường và không gian của dòng chảy. Mục đích là chọn mô hình phù hợp nhất để tính toán dòng chảy với chi phí thấp nhất. Trong thực tế, khi dòng chảy có bậc không gian khác nhau và/hoặc không giới hạn trong một môi trường, sử dụng mô hình tích hợp là phương án tốt nhất. Mỗi khu vực của dòng chảy được mô hình hóa bằng một mô hình con, và các mô hình con này được kết nối để đảm bảo tính liên tục của dòng chảy.

Có thể gặp 3 kiểu tích hợp: 1/ Tích hợp các mô hình con trong cùng một môi trường; 2/ Tích hợp các mô hình con của 2 môi trường; 3/ Tích hợp các mô hình con được thiết lập theo 2 phương pháp tiếp cận khác nhau.

1.5. Nhận xét và xác định hướng nghiên cứu của luận án

Luận án tập trung vào xây dựng chương trình tính toán mô hình dòng chảy trong quy mô lưu vực, bao gồm cả dòng chảy tràn mặt đất và dòng chảy nước ngầm. Vấn đề tương tác giữa đới bão hòa và không bão hòa, cũng như giữa dòng chảy tràn và nước ngầm, được giải quyết thông qua ba lớp biểu diễn chuyển động của nước. Mỗi lớp mô hình sử dụng phương trình vi phân phù hợp với đặc tính riêng của nó, tạo nên một mô hình toàn diện và liên tục của dòng chảy trong chu trình thủy văn.



Hình 1. 1: Sơ đồ mô hình dòng chảy 3 lớp

Mô hình được phân thành ba lớp chính:

Lớp 1: Dòng chảy tràn trên mặt đất. Đây là dòng chảy 2D trên phương ngang, được giải từ phương trình lan truyền sóng động học.

Lớp 2: Đới không bão hòa, bao gồm cả lớp đất bão hòa gần mặt. Chuyển động của nước ngầm trong lớp này được mô hình thành dòng 1D trong các cột đất thẳng đứng, sử dụng phương trình Richards.

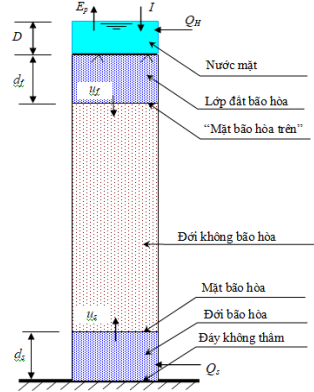
Lớp 3: Dòng chảy nước ngầm trong đới bão hòa. Tương tự như lớp 1, đây cũng là dòng chảy 2D trên phương ngang, được giải từ phương trình tích phân từ phương trình Laplace .

CHƯƠNG 2: XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN

2.1. MÔ HÌNH 1D TRÊN PHƯƠNG THẲNG ĐỨNG

2.1.1. Giới thiệu

Mô hình 1D là cơ sở quan trọng cho việc phát triển mô hình 3D và được phát triển trước tiên. Lưu lượng nước từ bên ngoài vào đới bão hòa được ký hiệu là Q_s , và lưu lượng nước từ nền đất vào lớp nước mặt là Q_H . Lớp nước mặt có thể nhận nước từ mưa (I) và mất nước do bốc hơi (E_p) (Hình 2.1). Điều kiện không có bổ sung nước ngang qua mặt bên của cột đất trong đới không bão hòa cũng được giả định.



Hình 2. 1: Sơ đồ mô hình cột đất

Hình 2. 1: Sơ đồ mô hình cột đất

2.1.2. Phương trình cơ bản

a) Trong đới không bão hòa

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial h_t}{\partial z} \right] = \frac{\partial k}{\partial z} - S_k \quad (2.1)$$

Với: K , k và S_k là hệ số khuếch tán theo phương z , hệ số thấm không bão hòa theo phương z và số hạng giếng.

b) Trong lớp nước mặt

$$\frac{dH}{dt} = \frac{Q_H}{S} + I - E_p - u_f \quad (2.5)$$

Trong đó u_f là vận tốc thấm xuyên qua lớp đất bão hòa; E_p là tốc độ bốc hơi; I là cường độ mưa.

c) Trong đới bão hòa

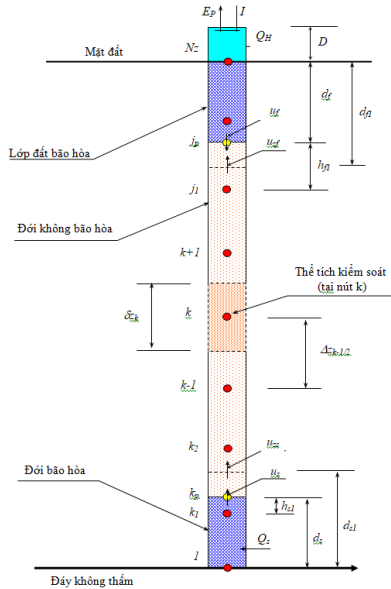
Vận tốc tại mặt bão hòa được tính từ Q_s :

$$u_s = \frac{Q_s}{S} \quad (2.7)$$

2.1.3. Lưới tính

Hình 2.3 giới thiệu sơ đồ chi tiết lưới tính của cột đất 1D. Toàn bộ chiều cao cột đất, từ đáy không thấm tới mặt đất (bao gồm cả đới bão hòa trên và dưới)

được chia thành Nz-1 đoạn tính với Nz nút. Chiều cao của các đoạn tính là đều nhau và bằng Δz .



Hình 2. 2: Sơ đồ lưới tính của cột đất 1D

2.1.4. Phương pháp giải

2.1.4.1 Phương trình phân rã của phương trình (2.1)

Bằng cách tích phân PT (2.1) trên các thể tích kiểm soát của nút k (với k thay đổi từ k_p tới j_p) và sau khi có các biến đổi thích hợp cũng như áp dụng điều kiện biên, nhận được hệ gồm $(j_p - k_p + 1)$ phương trình đại số có dạng như sau:

$$-A_{Bk} \theta_{k-1}^{n+1} + A_{Pk} \theta_k^{n+1} - A_{Tk} \theta_{k+1}^{n+1} = Src_k \quad (2.12)$$

Với: A_{Bk} , A_{Pk} , A_{Tk} , Src_k là các hệ số. Nếu không kể df và ds , hệ phương trình này chứa $(j_p - k_p + 1)$ ẩn là giá trị θ_k^{n+1} tại các nút k với $k = k_p, j_p$.

2.1.4.2 Phương trình cho ds

Tích phân PT (2.1) trong đoạn cột đất cao $ds l$ từ đáy không thấm tới mặt kiểm soát của nút k_p theo thời gian từ thời điểm n tới n+1, nhận được phương trình:

$$\Delta \Theta_s - (u_s^{n+1/2} - u_{zb}^{n+1/2}) \Delta t = 0 \quad (2.35)$$

Với: $u_s^{n+1/2}$ là vận tốc thấm tại mặt bão hòa; $u_{zb}^{n+1/2}$ là vận tốc tại mặt kiểm soát của nút k_p ; $\Delta \Theta_s$ là biến thiên trong khoảng thời gian từ thời điểm n tới n+1 của lượng nước trong cột đất $ds l$. Ngoại trừ $u_s^{n+1/2}$, cả $u_{zb}^{n+1/2}$ lẫn $\Delta \Theta_s$ đều phụ thuộc vào ds nên (2.35) chính là phương trình cho ẩn ds .

2.1.4.3. Phương trình cho df

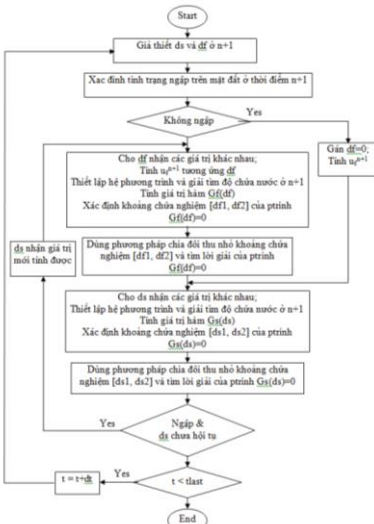
Cũng bằng cách tích phân phương trình (2.1) trong đoạn cột đất cao $df1$ từ mặt đất tới mặt kiểm soát của nút j_p (xem Hình 2.3) và theo thời gian từ thời điểm n tới thời điểm $n+1$, ta nhận được phương trình:

$$\Delta\Theta_f - (u_f^{n+1/2} + u_f^{n+1/2})\Delta t = 0 \quad (2.44)$$

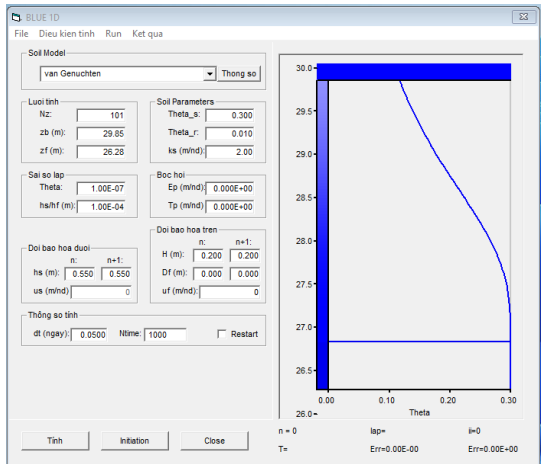
Trong đó $\Delta\Theta_f$ là biến thiên trong khoảng thời gian từ thời điểm n tới $n+1$ của lượng nước trong cột đất từ mặt kiểm soát của nút j_p tới mặt đất; $u_f^{n+1/2}$ là vận tốc tại mặt kiểm soát của nút j_p ; $u_f^{n+1/2}$ là vận tốc thấm từ trên mặt vào cột đất. Tất cả các số hạng này đều phụ thuộc vào df nên (2.44) chính là phương trình cho ẩn số df .

2.1.4.4. Sơ đồ giải thuật

Trong mỗi bước tính ds và df được giả thiết để có thể thiết lập và giải hệ $(j_p - k_p - 1)$ phương trình cho θ tại $(j_p - k_p + 1)$ nút. Bản thân hệ $(j_p - k_p + 1)$ phương trình cho θ là phi tuyến nên sẽ phải giải lặp. Do hệ phương trình này có dạng 3 đường chéo nên ở mỗi lần lặp sẽ được giải bằng giải thuật Thomas. Từ giải thuật được xây dựng bên trên phần mềm BLUE1D đã được viết bằng ngôn ngữ VB6.0. Một phiên bản khác cũng được viết bằng ngôn ngữ Fortran



Hình 2. 3: Sơ đồ giải thuật của lõi tính mô hình dòng chảy nước ngầm 1D

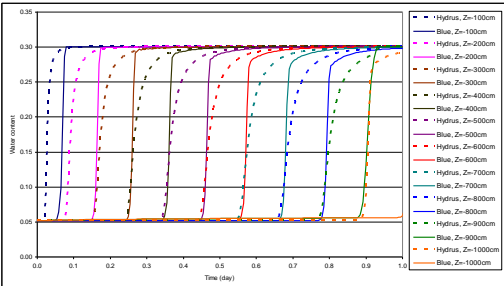
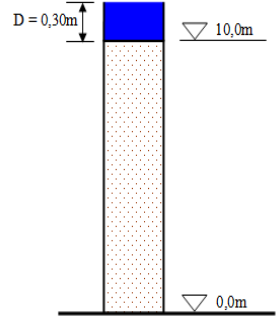


Hình 2. 4: Cửa sổ phần mềm BLUE1D

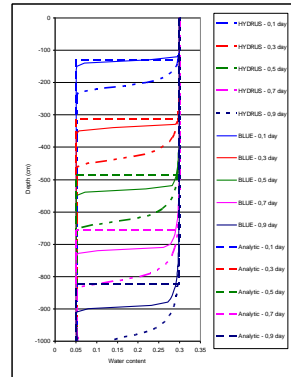
2.1.5. Tính toán thử nghiệm phần mềm BLUE1D

2.1.5.1. BT1 - Dòng thấm không bão hòa không ổn định trong cột đất

Cột đất cao 10m trên đáy không thấm, hệ số thấm $k_s=1,0\text{m}/\text{ngày}$, độ ẩm bão hòa (θ_s) = 0,30 và độ ẩm héo (θ_r) = 0,01. Tại thời điểm $t=0$, $\theta = 0,011$. Bài toán được tính toán bằng 02 phần mềm HYDRUS 1D và BLUE1D, đều áp dụng mô hình van Genuchten với $n=3$ và $\alpha=0,005\text{cm}^{-1}$. Cột đất được chia thành 100 đoạn tính (hoặc phân tử) và tính toán với các bước thời gian khác nhau. So sánh này làm nổi bật độ chính xác cao của BLUE1D trong mô phỏng độ ẩm trong cột đất, là một đánh giá tích cực về hiệu suất của mô hình này. Bên cạnh đó BLUE1D cũng đã được cho chạy thử với 4 bước thời gian tính khác nhau là 0,0001 ngày, 0,001 ngày, 0,01 ngày và 0,1 ngày và chương trình đều chạy ổn định. Việc không phải sử dụng kỹ thuật điều chỉnh bước thời gian và khả năng chạy ổn định ở bước thời gian lớn cũng là một ưu thế của BLUE1D so với Hydrus.



Hình 2. 5: Diễn biến độ ẩm theo thời gian tại một số vị trí trong cột đất



Hình 2. 6: Phân bố độ ẩm trong cột đất ở một số thời điểm

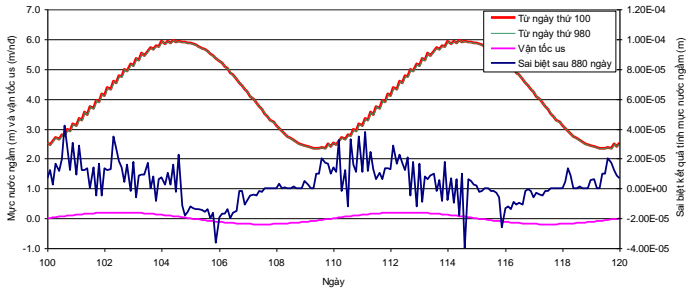
2.1.6.2. BT2 - Dao động mặt bão hòa trong cột đất không bị ngập

Xét cột đất cao $H = 10\text{m}$, với các thông số ban đầu: Mặt đất không bị ngập. Các thông số $E_p = 0$, $k_s = 2,0\text{m}/\text{ngày}$, $\theta_s = 0,30$ và $\theta_r = 0,01$. Vào thời điểm bắt đầu tính nước ngầm ở trạng thái tĩnh và mặt bão hòa nằm cao hơn đáy không thấm 3,06 m. Vận tốc u_s dao động theo quy luật hình sin:

$$u_s = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \quad (2.59)$$

Với $A = 0,2\text{m}/\text{ngày}$, $T = 10$ ngày và t là biến thời gian. Mô hình van Genuchten là $n = 3$ và $\alpha = 0,50 \text{ m}^{-1}$.

Chia cột đất thành 50 đoạn tính, mỗi đoạn dài 0,20 m, $\Delta t = 0,1$ ngày, tính toán trong 1000 ngày (100 chu kỳ). Đồ thị mực nước ngầm trong 20 ngày (2 chu kỳ) từ ngày thứ 100 và 980 được so sánh trên Hình 2.7, Với điều kiện biên $E_p = 0$ và u_s biến đổi tuần hoàn quanh giá trị 0. Đồ thị này chứng minh độ chính xác cao của phương pháp giải được xây dựng trong Luận án.

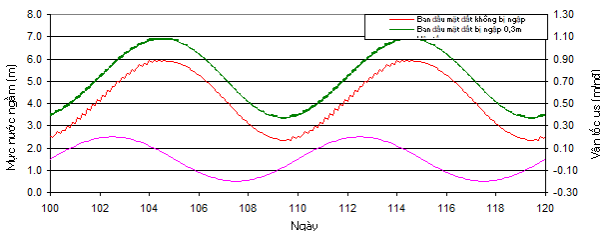


Hình 2. 7: Dao động mực nước ngầm

2.1.6.3. BT3 - Dao động mặt bão hòa trong cột đất bị ngập

Điều kiện như Bài toán 2 mục 2.1.6.2, với 2 khác biệt: Vào thời điểm bắt đầu tính mặt đất đột ngột bị ngập 0,3m; Tốc độ bốc hơi $E_p = 5,5.10^{-3}$ m/nd, $\Delta t = 0,02$ ngày.

Hình 2.9 cho thấy kết quả tính toán so sánh mực nước ngầm trong 20 ngày giữa trường hợp mặt đất không ngập và mặt đất bị ngập cho thấy rằng, khi độ ẩm giảm, quá trình bốc hơi kết thúc và không có thất thoát nước. Sự thêm nước từ trên mặt thấm xuống khiến mực nước ngầm tăng thêm 1,0 m so với trường hợp mặt đất không ngập là minh chứng cho độ chính xác cao của phương pháp giải.



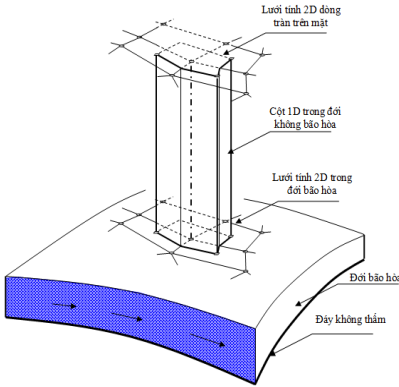
Hình 2. 8: Dao động mực nước ngầm trong 2 bài toán

2.2. MÔ HÌNH TƯƠNG ĐƯƠNG 3D

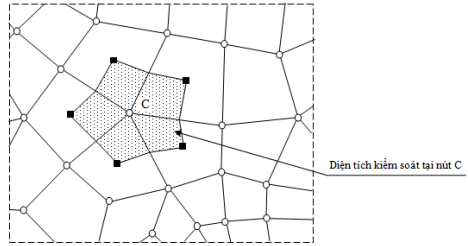
2.2.1. Giới thiệu

Trong mô hình tích hợp 3 lớp dòng chảy, lớp dòng chảy trong đới không bão hòa được điều chỉnh từ mô hình 1D. Lưu lượng Q_s và Q_H , trước đây là điều kiện biên, sẽ được tính toán dựa trên mô hình dòng chảy trong đới bão hòa và

đồng tràn trên mặt đất. Mô hình tích hợp bao gồm dòng chảy tràn 2D, dòng chảy 1D trong đới không bão hòa và dòng chảy 2D trong đới bão hòa, liên kết với nhau. Hình 2.10 giới thiệu lưới tính của mô hình, có mô hình dòng chảy nước ngầm 2D, dòng tràn 2D trên mặt đất ở đáy và mô hình cột đất 1D ở trên. Mục nước và cao độ bão hòa tính tại các nút lưới 2D, với lưới tính được cấu trúc lại thành các thể tích kiểm soát, sử dụng diện tích kiểm soát thay thế cho thuật ngữ thể tích kiểm soát trong bài toán 2D.



Hình 2. 9: Sơ đồ lưới tính của mô hình tích hợp



Hình 2. 10: Sơ đồ lưới tính 2D của mô hình dòng chảy trong đới bão hòa và của dòng tràn trên mặt đất

2.2.2. Mô hình con dòng tràn trên mặt đất

2.2.2.1. Phương trình cơ bản

Dòng tràn hai chiều trên mặt đất được mô tả bởi phương trình (1.24):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + I - u_f - E_p \quad (2.60)$$

Với:
$$K = \begin{cases} \frac{D^{5/3}}{n\sqrt{S_i}} & \text{khi } |S_i| > \delta \text{ và } D > D_{min} \\ 0 & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (2.61)$$

Và: η - cao độ mặt thoáng; D - độ sâu; I , u_f và E_p - cường độ mưa, thấm và bốc hơi; n - hệ số nhám Manning; S_i - độ dốc mặt nước.

2.2.2.2. Phương pháp giải

Xét diện tích kiểm soát tại nút C (Hình 2.20). Tích phân (2.60) trên diện tích kiểm soát này, sau đó áp dụng các biến đổi thích hợp, ta nhận được phương trình:

$$S.(1+0,5\Delta t.s)\eta_C^{n+1} - \Delta t \sum_j c_{ej} \eta_j^{n+1} = S.\eta_C^n + \Delta t.S.[r-0,5s.\eta_C^n] \quad (2.69)$$

Trong đó η_j là mực nước tại các nút xung quanh nút C và bao gồm cả mực nước tại nút C; c_{cj} là các hệ số. Thiết lập (2.69) cho tất cả các nút, ta sẽ thu được hệ phương trình đại số dạng:

$$\mathbf{A.E} = \mathbf{P} \tag{2.70}$$

Do ma trận A là ma trận thưa với nhiều phần tử không, để tiết kiệm bộ nhớ cũng như giảm thời gian tính, ma trận này sẽ được lưu dưới dạng băng. Sau khi bổ sung điều kiện biên, (2.70) sẽ được giải và ta sẽ thu được η ở thời điểm n+1 tại tất cả các nút. Do đây là phương trình phi tuyến nên hệ phương trình này sẽ được giải bằng phương pháp lặp

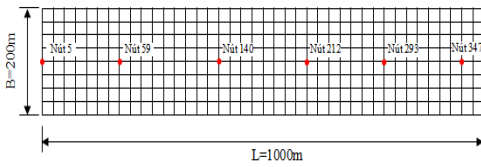
2.2.2.3. Sơ đồ giải thuật

Theo giải thuật được trình bày ở trên, một chương trình máy tính có tên là KW đã được viết bằng ngôn ngữ Fortran.

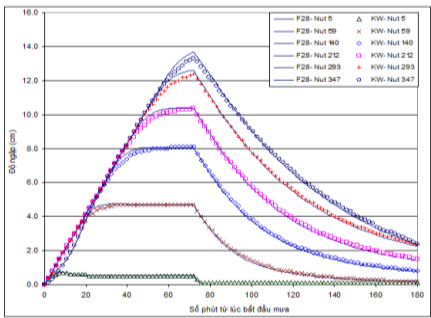
2.2.2.4. Tính toán kiểm tra

Mô hình con dòng tràn trên mặt đất được tính toán kiểm tra với bài toán dòng chảy tụ trên lưu vực hình chữ nhật kích thước LxB, dốc xuôi từ trái qua phải với độ dốc $i=0,002$, $n=0,050$. Cao độ mặt đất ở cuối dốc là 1,0m. (Hình 2.12).

Mưa từ thời điểm $t=0$, kéo dài trong 72 phút với lượng mưa 150mm (cường độ mưa không đổi). Mực nước tại biên bên phải (cuối dốc) được duy trì không đổi với giá trị là 1,1m. Mô hình có 320 phần tử, $dt = 1,8$ phút. Chương trình KW kiểm tra dòng tràn với mô hình 2D của phần mềm F28; Kết quả kiểm tra cho thấy, sai số kết quả tính độ ngập giữa 2 mô hình là rất nhỏ. Sai số mực nước tại nút số 5 là lớn nhất nhưng cũng chỉ 2,5% (Hình 2.13)



Hình 2. 11: Lưới tính mô hình dòng chảy 2D trên mặt đất



Hình 2. 12: So sánh diễn độ ngập với kết quả tính bằng F28 tại một số nút

2.2.3. Mô hình con dòng chảy trong đới bão hòa

Phương trình cơ bản

Chuyển động của nước ngầm trong đới bão hòa được xem là theo phương nham ngang và được giải từ phương trình:

$$u_s = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_s d_s \frac{\partial h_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_s d_s \frac{\partial h_s}{\partial y} \right) \quad (2.63)$$

Với h_s là cao độ mặt bão hòa; d_s là bề dày đới bão hòa; k_s là hệ số thấm bão hòa trên các phương ngang

Xét diện tích kiểm soát tại nút C, Tích phân (2.63) trên diện tích kiểm soát và thực hiện các biến đổi thích hợp, ta thu được phương trình:

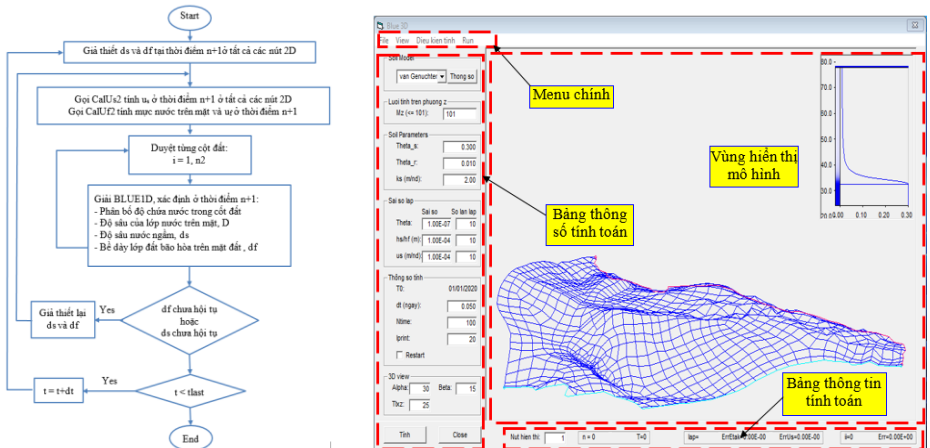
$$u_s = \frac{1}{S} \sum_j a_{Cj} h_{sj} \quad (2.68)$$

Trong đó a_{Cj} là các hệ số, h_{sj} là giá trị của h_s tại nút C và tại các nút xung quanh C (các nút cùng trong một phần tử với nút C). Khi tính (2.68), điều kiện biên tại mặt hông sẽ được xét đến.

2.2.4. Tích hợp các mô hình con và phần mềm BLUE3D

Chương trình máy tính được phát triển bằng ngôn ngữ Fortran để tính toán dòng chảy ngầm trong 3 lớp: nước mặt, đới không bão hòa và đới bão hòa. Chương trình tích hợp các module từ các phần tương ứng và sử dụng sơ đồ thuật toán được trình bày chi tiết trên Hình 2.23.

Một phần mềm BLUE3D cũng được viết để biên tập dữ liệu, gọi module tính toán và xử lý đồ họa kết quả tính cũng được viết bằng ngôn ngữ Visual Basic. Cửa sổ chính của phần mềm BLUE3D được giới thiệu trên Hình 2.24.



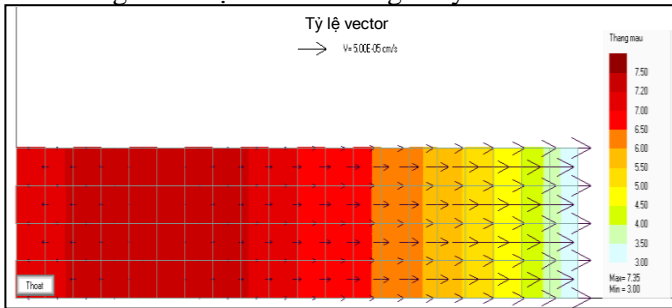
Hình 2.13: Sơ đồ giải thuật và giao diện chương trình BLUE3D

2.2.5. Tính toán thử nghiệm

Tính toán dòng thấm ổn định qua dải đất dài vô tận. Mục đích là kiểm tra mô hình con tính dòng thấm 2D trong đới bão hòa, khả năng đáp ứng của mô hình 1D khi tích hợp với mô hình 2D thành mô hình tương đương 3D. Dải đất hình chữ nhật $L=1600\text{m}$, $B=200\text{m}$ có đáy không thấm ở cao độ $0,0\text{m}$ và mặt đất ở $10,0\text{m}$. Các thông số của đất: $k_s=1\text{m}/\text{nd}$; $\theta_s=0,30$; $\theta_r=0,01$. Mô hình đất: van Genuchten với $n = 3$, $\alpha = 0,5\text{m}^{-1}$.

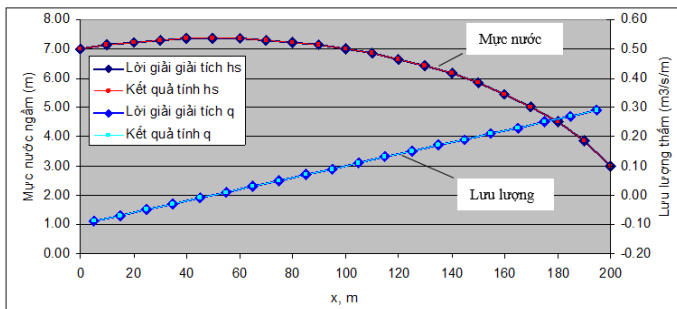
Điều kiện biên: Biên bên trái: mực nước cố định ở cao độ $7,0\text{m}$; Biên bên phải: mực nước cố định ở cao độ $3,0\text{m}$; Biên dọc theo 2 bên chiều dài: cách nước; Mưa $2\text{mm}/\text{nd}$ kéo dài liên tục; $E_p, T_p = 0$. Điều kiện ban đầu: Nước dưới đất ở trạng thái tĩnh với mực nước ngầm ở $1,53\text{m}$. Mặt đất ngập nước với $D=0,3\text{m}$

Xuất phát từ điều kiện ban đầu tĩnh với mực nước ngầm là $1,54\text{m}$ sau khi tính một khoảng thời gian thì lời giải ổn định. Hình 2.16 giới thiệu hình ảnh mực nước ngầm và trường vector vận tốc của dòng chảy.



Hình 2. 14: Kết quả tính mực nước ngầm và vận tốc dòng thấm bão hòa qua dải đất (Thang màu chỉ mực nước và có đơn vị là mét)

Hình 2.15 so sánh kết quả tính mực nước và lưu lượng với lời giải giải tích. Ta có thể thấy kết quả tính mực nước và lưu lượng hầu như trùng khớp với lời giải giải tích.



Hình 2. 15: So sánh kết quả tính mực nước và lưu lượng với lời giải giải tích

CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG TÍNH TOÁN THỬ NGHIỆM BỔ CẬP NƯỚC NGẦM Ở KHU ĐỒI CÁT NAM SÔNG LŨY, HUYỆN BẮC BÌNH, BÌNH THUẬN

3.1. TỔNG QUAN VÙNG NGHIÊN CỨU

Vùng nghiên cứu là khu đồi cát Nam sông Lũy, với diện tích hơn 700 km², bao gồm các xã Phan Rí Thành, Phan Hiệp, Phan Thanh, Hồng Thái (huyện Bắc Bình) và xã Hoà Phú (huyện Tuy Phong, tỉnh Bình Thuận).

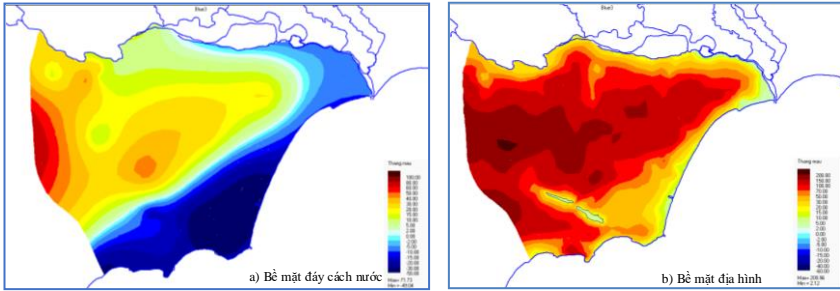


Hình 3. 1: Khu đồi cát Nam sông Lũy (Nguồn Google Earth)

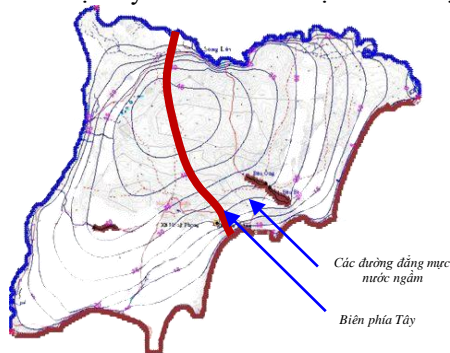
3.2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH

Mô hình tính toán dòng chảy nước ngầm cho khu vực nghiên cứu được xây dựng trên lưới tính 2D với 1041 nút và 971 phần tử, diện tích phần tử từ 2,67 ha đến 165,1 ha (Hình 3.4).

- Dữ liệu sử dụng: Bề mặt cách nước, bề mặt địa hình, hệ số thấm bão hòa theo phương đứng và ngang.
- Mô hình đất: Mô hình van Genuchten.
- Điều kiện biên:
 - Biên sông Lũy: Mức nước đo đạc tại trạm Thủy văn sông Lũy và cửa Phan Rí.
 - Biên bờ biển: Mức nước thủy triều từ mô hình 2D biển Đông tại cửa Phan Rí.
 - Biên phía Tây: Biên không thấm theo đường dòng, phản ánh nghiên cứu của Vương B.T (Hình 3.3).
 - Biên mưa, bốc hơi: Số liệu từ các trạm KTTV Sông Lũy, sông Mao, Bàu Trắng và Phan Rí. Lượng mưa nội suy từ các trạm đo trong khu vực bằng phép nội suy tam giác.

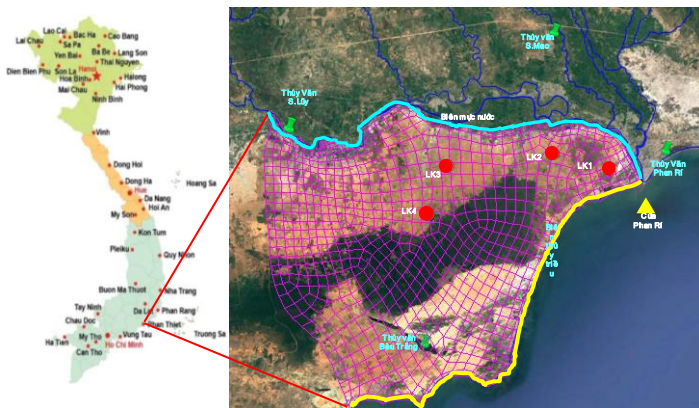


Hình 3. 2: Bề mặt đáy cách nước và mặt đất khu vực tính toán



Hình 3. 3: Các đường đẳng mực nước ngầm khu vực huyện Bắc Bình và biên phía Tây của mô hình BLUE3D

Tính toán dòng chảy nước ngầm khu đồi Cát Nam sông Lũy trong 3 năm (2020-2022). Bước thời gian tính của mô hình là $\Delta t = 120s$. Mặc dù mô hình sử dụng sơ đồ ẩn, cho phép chạy với bước thời gian lớn hơn nhưng để có kết quả chính xác, bước thời gian này đã được chọn.

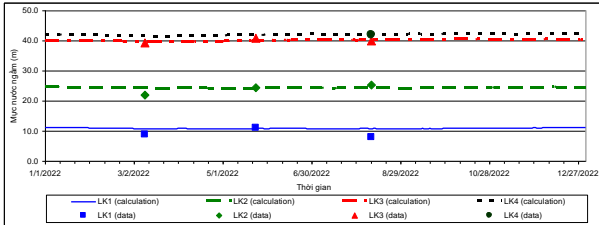


Hình 3. 4: Lưới tính của mô hình tính dòng chảy nước ngầm đồi cát Nam sông Lũy

3.3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN HIỆN TRẠNG

3.3.1. Kiểm định mô hình

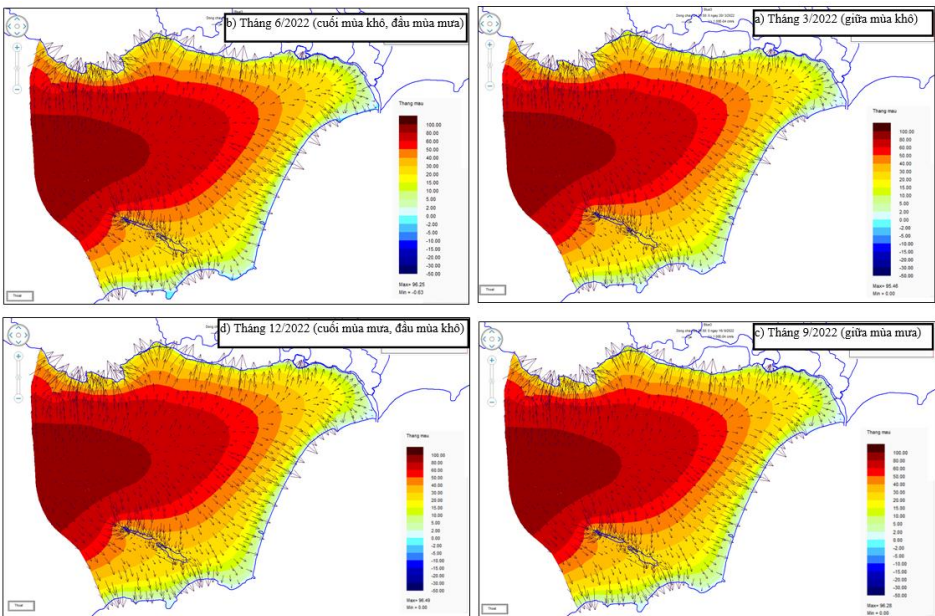
Mức nước ngầm tại 4 giếng khoan (LK1, LK2, LK3, LK4) được quan trắc và so sánh với kết quả tính toán trong thời gian mùa khô và mùa mưa. Kết quả cho thấy sự phù hợp giữa số liệu tính toán và đo đạc.



Hình 3. 5: So sánh kết quả quan trắc và tính toán tại 4 vị trí giếng

3.3.2. Diễn biến dòng ngầm

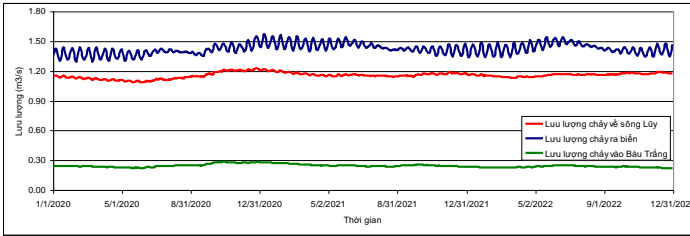
Thời gian tính toán từ 2020 đến 2022. Kết quả tính dòng chảy trong đới bão hòa trong mùa khô và mùa mưa (Hình 3.6). Kết quả tính cho thấy, nước ngầm ở sườn phía Bắc khu đồi cát chảy về phía Sông Lũy, ở sườn Đông Nam chảy ra biển. Độ lớn của vận tốc vào khoảng $0,3 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Kết quả tính toán dòng chảy nước ngầm phản ánh đúng đặc điểm địa hình.



Hình 3. 6: Cao độ mặt bão hòa và trường vận tốc

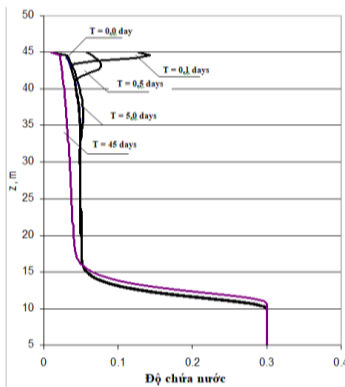
3.3.3. Đánh giá khả năng bổ cập

Lượng nước trung bình hàng năm từ đồi cát chảy ra sông Lũy là 36,5 triệu m³/năm, chảy ra biển là 44,9 triệu m³/năm và chảy vào Bàu Trắng 7,7 triệu m³/năm (Hình 3.7). Trong 3 năm từ 2020 đến 2022, hệ số bổ cập nước mưa cho tầng nước không áp tại khu đồi cát Nam sông Lũy là 16,2%, được tính dựa trên tỷ lệ giữa lượng nước chảy ra khỏi vùng tính toán và tổng lượng nước mưa. Kết quả này tương đương với hệ số bổ cập 21% tại vùng đồi cát Cerrado Biome, Brazil.

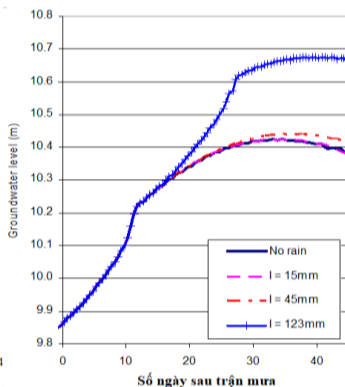


Hình 3. 7: Lưu lượng chảy về sông Lũy, chảy ra biển và chảy vào Bàu Trắng

Nước mưa trước khi xuống tới mặt bão hòa sẽ thấm xuyên qua đới KBH. Hệ số bổ cập phụ thuộc vào hệ số thấm bão hòa, độ chứa nước hiện trạng của đất, thảm thực vật và lượng mưa trận. Quá trình vận động của nước mưa xuyên qua đới KBH sau các trận mưa có vũ lượng khác nhau cũng đã được tính toán.



Hình 3. 8: Diễn biến của độ chứa nước θ trong cột đất sau trận mưa có $w_f = 123\text{mm}$



Hình 3. 9: Diễn biến mực nước ngầm sau trận mưa có vũ lượng khác nhau

Trận mưa có $w_f = 123\text{mm}$, $\Delta H = 0,26\text{m}$ nên $k_i = 40\%$. Đối với trận mưa có $w_f = 45\text{mm}$, $\Delta H = 0,03\text{m}$ nên $k_i = 13\%$. Đối với trận mưa có $w_f = 15\text{mm}$ bổ cập nước ngầm gần như bằng không. Kết quả tính toán này cũng cho thấy độ trễ pha vào khoảng 20 ngày. Hình 3.9 cũng cho thấy độ trễ pha của dòng nước ngầm so với trận mưa. Trường hợp mực nước ngầm thấp hơn mặt đất 30m thì nước mưa mất khoảng 25 ngày mới chuyển động tới mặt bão hòa.

3.4. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG GIA TĂNG NGUỒN NƯỚC NGẦM

3.4.1. Các thay đổi về điều kiện tự nhiên có ảnh hưởng tới bổ cập nước ngầm

Bổ cập nước ngầm từ nước mưa phụ thuộc vào nhiều yếu tố như lượng mưa, hệ số thấm bão hòa và thảm phủ thực vật. Lượng mưa lớn và mưa tập trung tăng cơ hội thấm xuống, trong khi hệ số thấm lớn giúp giảm tỷ lệ hao hụt. Thảm phủ thực vật cũng ảnh hưởng đến quá trình này, tùy vào loại cây.

Các khu đồi cát ven biển thuộc tỉnh Bình Thuận, bao gồm khu đồi cát Nam sông Lũy, là các mỏ titan. Khai thác titan thường sử dụng nước để tách quặng từ cát, và cát thải được san lấp trở lại mỏ để phục hồi môi trường.

Quá trình đào xới và đãi cát trên khu đồi cát Nam sông Lũy có thể thay đổi đặc tính thấm của đất. Trong tương lai gần, khả năng thay đổi chủ yếu đến từ sự biến đổi của hệ số thấm, ảnh hưởng đến tỷ lệ bổ cập nước ngầm.



Hình 3. 10: Moong khai thác và bãi san lấp mỏ Nam Suối Nhum (Nguồn Internet)

Quá trình đào xới mang đi đãi rồi lấp trở lại bằng cát đã đãi sẽ làm cho đặc tính thấm của khu đồi cát thay đổi. Như vậy trong tương lai gần, yếu tố có nhiều khả năng thay đổi dẫn tới thay đổi tỷ lệ bổ cập nước ngầm tại khu đồi cát nam sông Lũy chính là hệ số thấm. Bên cạnh đó, các tác động môi trường từ khai thác titan có thể bao gồm:

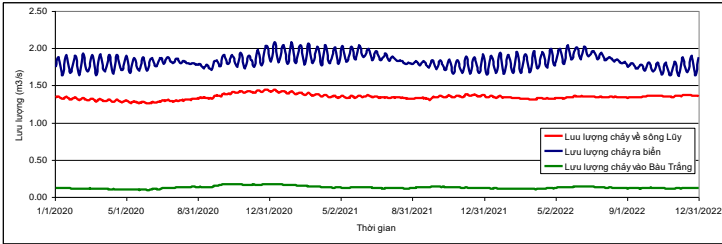
Nguy cơ ô nhiễm phóng xạ: Kết quả đo tại mỏ Thiện Ái cho thấy phong phóng xạ trung bình là 142,3 nSv/h và liều chiếu ngoài trung bình hàng năm là 1,24 mSv/năm, cao hơn mức trung bình thế giới. Các mỏ khác như Hòn Rom, Sơn Mỹ - Tân Thắng, Suối Nhum cũng ghi nhận hàm lượng radon cao, vượt mức "hành động" và tiềm ẩn nguy cơ gây hại cho sức khỏe.

Nguy cơ ô nhiễm nguồn nước: Khai thác titan gây ô nhiễm nước, làm nước ngầm bị nhiễm mặn và phèn, ảnh hưởng đến sinh hoạt của người dân. Nước thải từ quá trình khai thác có mức phóng xạ α và β vượt quy chuẩn an toàn.

3.4.2. Khả năng gia tăng nguồn nước ngầm

Cát tự nhiên có khả năng cố kết chặt do chứa hạt mịn, khiến hệ số thấm ở mức trung bình. Tuy nhiên, qua quá trình đào và rửa, hệ số thấm có thể tăng đáng kể. Nghiên cứu này xác định hệ số thấm tại các vị trí không bị tù đọng nước và

cát được rời bỏ, đạt giá trị lớn tới 31,1m/nđ. Hệ số thấm này được giả định là của cát lấp trở lại các moong sau khi đãi tách quặng. Dựa trên giả định này, dòng chảy nước ngầm khu vực nam sông Lũy trong 3 năm (2020-2022) được mô phỏng, với biểu đồ thể hiện diễn biến lưu lượng chảy về sông Lũy, ra biển và vào Bàu Trắng.



Hình 3. 11: Lưu lượng chảy về sông Lũy, chảy ra biển và chảy vào Bàu Trắng trong kịch bản hệ số thấm thay đổi

Do hệ số thấm gia tăng, lượng nước mưa bổ cập vào nước ngầm cũng gia tăng. Tổng lượng nước ngầm trung bình hàng năm từ khu đồi cát chảy ra sông Lũy sẽ tăng lên là 42,4 triệu m³/năm (tăng 16%), chảy ra biển là 57,7 triệu m³/năm (tăng 28%) và chảy vào Bàu Trắng 4,1 triệu m³/năm. Từ kết quả tính toán này hệ số bổ cập nước ngầm đã được xác định là 18,9%.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận:

Trong khuôn khổ Luận án, hai chương trình tính toán BLUE1D và BLUE3D đã được phát triển. BLUE3D là mô hình tích hợp từ ba lớp: mô hình 2D cho dòng chảy tràn trên mặt đất, mô hình cột đất 1D thẳng đứng trong đới không bão hòa, và mô hình 2D cho dòng chảy nước ngầm trong đới bão hòa. Các lớp này được kết nối theo nguyên lý bảo toàn khối lượng và giải bằng phương pháp thể tích hữu hạn.

BLUE1D và BLUE3D đã được kiểm tra và so sánh với các lời giải giải tích và các phần mềm khác, cho thấy độ chính xác khá tốt. BLUE3D đã được thử nghiệm tính toán việc bổ cập nước ngầm từ nước mưa cho khu đồi cát Nam sông Lũy, huyện Bắc Bình, tỉnh Bình Thuận. Kết quả mô phỏng cho thấy hiện tại lượng nước ngầm chảy ra sông Lũy là khoảng 36,5 triệu m³/năm và ra biển là khoảng 44,9 triệu m³/năm. Trong tương lai, do khai thác titan, lượng nước ngầm có thể tăng lên 42,4 triệu m³/năm và 57,7 triệu m³/năm tương ứng. Mặc dù số liệu đầu vào còn hạn chế, tính toán đã chỉ ra tiềm năng lớn của nước ngầm ở khu đồi cát và khả năng gia tăng nếu có các giải pháp thích hợp.

Kiến nghị

Sử dụng và bảo vệ nguồn tài nguyên nước một cách bền vững là một bài toán ngày càng được quan tâm. Tuy nhiên, do hạn chế về thời gian và nguồn số liệu, kết quả nghiên cứu trong Luận án mới chỉ là bước khởi đầu. Mặc dù có tiềm năng, BLUE1D và BLUE3D cần được hoàn thiện thêm để đáp ứng yêu cầu từ thực tế. Một số điểm cần cải thiện bao gồm:

- Cần cải tiến để BLUE1D và BLUE3D có thể tính toán được trường hợp môi trường đất có nhiều lớp với các đặc tính thủy lực khác nhau;
- Cần bổ sung thêm điều kiện biên giếng khai thác;
- Cần tích hợp thêm vào BLUE3D mô hình dòng chảy nước mặt 1D để gia tăng khả năng mô hình hóa.
- Cần cải tiến thuật giải để tăng tốc độ tính toán.

Để đảm bảo tính tin cậy của kết quả tính toán cho khu vực đồi cát Nam sông Lũy, cần giải quyết các vấn đề liên quan đến nguồn số liệu. Cụ thể, cần thực hiện các thí nghiệm để xác định hệ số thấm và các hệ số của mô hình đất van Genuchten. Đồng thời, cần tiến hành thí nghiệm để xác định cường độ bốc hơi thực vật. Việc điều tra, khảo sát tình hình khai thác nước ngầm và quan trắc độ ẩm trong đất, mực nước ngầm cũng cần được thực hiện để có số liệu hiệu chỉnh mô hình.

Danh mục công trình đã công bố

Hội nghị quốc tế

1. Hoa Nguyen Thi Thanh and Giang Le Song, “Calculating groundwater recharge using saturated-unsaturated flow modeling,” IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 1226, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1226/1/012027.
2. Hoa Nguyen Thi Thanh and Giang Song Le, “Study on recharge of groundwater in the dunes in the South of Luy river, Binh Thuan province”, Lecture Notes in Civil Engineering, indexed by Scopus **Q4, Volume 442**, Springer, 2023 https://doi.org/10.1007/978-981-99-7434-4_207

Hội nghị trong nước

1. Lê Song Giang, Nguyễn Thị Thanh Hoa, Mô hình toán tương tác đối không bão hòa và bão hòa của dòng chảy nước dưới đất, TUYÊN TẬP CÔNG TRÌNH HỘI NGHỊ KHOA HỌC CƠ HỌC THỦY KHÍ TOÀN QUỐC Lần thứ 25, 2022, Hà Nội - Việt Nam
2. Nguyễn Thị Thanh Hoa, Lê Song Giang, Mô hình dòng chảy nước ngầm trong đối bão hòa – không bão hòa tương đương 3D, TUYÊN TẬP CÔNG TRÌNH HỘI NGHỊ KHOA HỌC CƠ HỌC THỦY KHÍ TOÀN QUỐC Lần thứ 26, 2023, Hà Nội - Việt Nam

Đề tài nghiên cứu khoa học

1. Nguyễn Thị Thanh Hoa, “Xây dựng mô hình tính dòng ngầm trong đối bão hòa - không bão hòa và tương tác với dòng mặt” Đề tài NCKH cấp trường, HĐ số 04/HĐ-NVKHCT ngày 27/01/2022 của Trường ĐH Tài nguyên và Môi trường TP.HCM. (Đã nghiệm thu)
2. Nguyễn Thị Thanh Hoa, “Nghiên cứu tính toán quá trình bổ cập nước ngầm từ nước mưa khu vực đồi cát nam sông Lũy, huyện Bắc Bình, tỉnh Bình Thuận”, đề tài NCKH cấp trường, mã số: CT.2023.07 theo HĐ số CT.2023.07 ngày 12/6/2023 của Trường ĐH Tài nguyên và Môi trường TP.HCM. (Đã nghiệm thu)