

Ứng dụng mô hình SWAT đánh giá tài nguyên nước khu vực thượng nguồn đầm Thị Nại phục vụ phát triển bền vững tỉnh Bình Định

• Nguyễn Hồng Quân

• Mai Toàn Thắng

Viện Môi trường và Tài nguyên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 07 tháng 08 năm 2014, nhận đăng ngày 12 tháng 11 năm 2014)

TÓM TẮT

Dòng chảy trên lưu vực sông Kôn, sông Hà Thanh, thượng lưu đầm Thị Nại đóng vai trò hết sức quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội tỉnh Bình Định. Việc đánh giá tiềm năng nguồn nước của lưu vực góp phần đảm bảo công tác quy hoạch tài nguyên nước, phục vụ nhu cầu phát triển bền vững trong tương lai. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu trình bày kết quả bước đầu sử dụng mô hình SWAT nhằm đánh giá lưu lượng trên toàn lưu vực. Số liệu mô phỏng nhiều năm bao gồm các dữ liệu mưa và khí tượng lên tới 36 năm bao gồm các trạm quan trắc trong khu vực. Các tham số của mô hình được hiệu chỉnh và đánh giá độ

nhạy bằng phần mềm SWAT-CUP với thuật toán SUFI-2 (Semi Automated Sequential Uncertainty Fitting) và trạm thủy văn Bình Tường (1980 – 1995). Kết quả hiệu chỉnh đạt được chỉ số Nash 0,51 hệ số tương quan R^2 0,54, hệ số PBIAS bằng 15,01 % với bước thời gian ngày. Kết quả tính toán cho thấy trung bình dòng chảy đổ vào đầm Thị Nại từ nhánh sông Kôn là 105,16 và sông Hà Thanh bằng 19,77 m^3/s . Kết quả của nghiên cứu có thể dùng trong các nghiên cứu về cân bằng nước trên lưu vực phục vụ quy hoạch tài nguyên nước hoặc làm đầu vào cho mô hình lan truyền chất và vận chuyển bùn cát trên đầm Thị Nại.

Từ khóa: Đầm Thị Nại, sông Kôn, sông Hà Thanh, SWAT, SWAT-CUP, Sufi-2

1. MỞ ĐẦU

Đầm Thị Nại có vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội và bảo tồn đa dạng sinh học. Chất lượng nước trong đầm không những bị ảnh hưởng bởi các hoạt động xung quanh đầm mà còn chịu ảnh hưởng bởi điều kiện tự nhiên và các hoạt động trên khu vực thượng lưu. Khu vực thượng nguồn của đầm Thị Nại bao gồm hai sông chính là sông Kôn và sông Hà Thanh, hai sông

này đều đổ trực tiếp nước vào đầm Thị Nại, nên có vai trò quan trọng trong việc hình thành chế độ dòng chảy, trầm tích cũng như độ mặn trong đầm. Thêm vào đó, lưu vực sông Kôn và sông Hà Thanh trực tiếp cung cấp nước cho nhiều hồ chứa trên khu vực, có thể kể đến ba hồ chứa lớn là hồ Định Bình, hồ Thuận Ninh, hồ Núi Mệt; đồng thời đảm bảo nhu cầu nước trong nông nghiệp và

sinh hoạt trong khu vực. Từ những vấn đề trên, cho thấy việc cân bằng hài hòa giữa các nhu cầu sử dụng nước và đảm bảo chất lượng nước ở khu vực thượng lưu đầm Thị Nại là rất cần thiết. Do đó trong nghiên cứu này ứng dụng mô hình thủy văn nhằm đánh giá chế độ dòng chảy trên khu vực, tạo tiền đề cho các nghiên cứu về chất lượng nước và trầm tích sau này là hết sức cần thiết.

Hiện nay, các nghiên cứu sử dụng mô hình thủy văn phân bố và bán phân bố để mô phỏng mưa – dòng chảy trên các lưu vực sông đang dần trở nên phổ biến [1], có thể kể đến các mô hình điển hình như SWAT, HPSF (hydrological simulation program–FORTRAN), Mike SHE, SHETRAN (Sys'teme Hydrologique Europ'een Transport). Các mô hình đều có những ưu và nhược điểm riêng, như Mike SHE, SHETRAN là một mô hình phân bố, hướng tiếp cận hoàn toàn dựa trên bản chất vật lý (fully physically-based model) [1] với những mô tả các quá trình vật lý chi tiết và phức tạp, tuy nhiên tính phức tạp của mô hình dẫn đến đòi hỏi các số liệu đầu vào rất chi tiết, với điều kiện số liệu hạn chế ở Việt Nam thì đây là một thách thức rất lớn; mô hình HPSF với cách tiếp cận bằng các quá trình thay đổi

lượng trữ (nước, các chất hóa học) [1] theo chiều thẳng đứng, mô hình chia các tiểu lưu vực thành những đơn vị nhỏ hơn chủ yếu dựa trên dữ liệu sử dụng đất; mô hình SWAT là mô hình bán phân bố, mô hình chia các tiểu lưu vực thành các đơn vị thủy văn HRUs (hydrologic response units) với mỗi đơn vị thủy văn thì đồng nhất về loại đất và loại hình sử dụng đất [5]. Dựa trên điều kiện số liệu hiện có trong khu vực nghiên cứu, mô hình SWAT được sử dụng để tiến hành mô phỏng thủy văn tại đây.

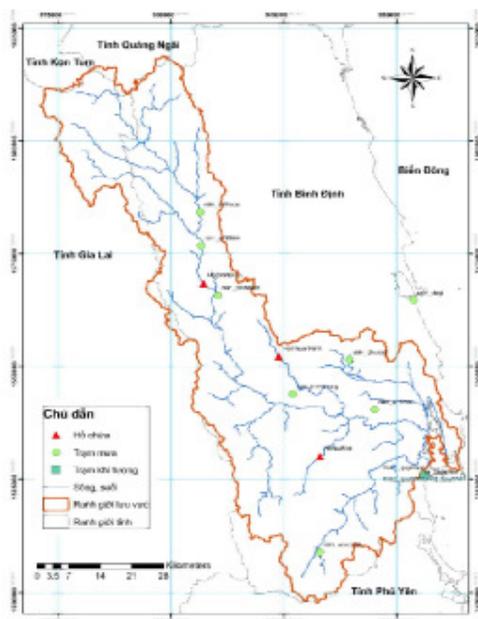
Trong mô hình SWAT, các quá trình thủy văn được đặc trưng bởi nhiều tham số khác nhau, do sự biến đổi không gian trong những quá trình mô phỏng, các tham số này không thể nào biết được một cách chính xác, hơn nữa hầu hết các tham số không thể có được bằng cách đo đạc trực tiếp [1]. Do đó việc hiệu chỉnh mô là một bước rất quan trọng nhằm ước tính giá trị của các tham số. Quá trình này sẽ làm giảm độ bất định của các tham số, dẫn đến làm giảm độ bất định của mô hình. Trong nghiên cứu sẽ sử dụng mô hình SWAT – CUP với thuật toán Sufi-2 để hiệu chỉnh mô hình SWAT.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực thượng nguồn đầm Thị Nại có diện tích khoảng 3700 km² chiếm hơn một nửa diện tích tỉnh Bình Định. Trong khu vực nghiên cứu có hai lưu vực sông chính là sông Côn (diện tích lưu vực là 3067 km² với tổng chiều dài sông chính khoảng 178 km) và sông Hà Thanh (diện tích lưu vực khoảng 53 km²) với tổng chiều dài sông chính là 38 m). Độ cao trên khu vực biến

thiên từ 0 cho tới 1400 m, trung bình vào khoảng 370 m. Trên khu vực, những vùng có độ cao dưới 100 m nhiệt độ trung bình năm thường dao động trong khoảng 26 – 27⁰C, ở độ cao từ 100 – 300 m nhiệt độ năm thường dao động từ 24 – 25⁰C. Càng lên cao nhiệt độ không khí càng giảm. Ở độ cao trên 400m, nhiệt độ trung bình năm giảm xuống còn 23 – 24⁰C, trên 1000 m nhiệt độ trung bình năm giảm xuống dưới 21⁰C [2].



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu

Phân phối không gian của lượng mưa ở khu vực nghiên cứu rất không đồng đều. Vùng núi Vĩnh Sơn và vùng núi phía bắc tỉnh là hai khu vực có lượng mưa lớn nhất tỉnh, với tổng lượng mưa năm trung bình từ 2220 – 3030 mm trong đó trung tâm mưa lớn nhất thuộc huyện miền núi An Lão. Vùng mưa lớn thứ hai là vùng núi Vĩnh Kim thuộc trung lưu sông Kôn, huyện Vân Canh thượng nguồn sông Hà Thanh và các huyện ven

biển phía bắc tỉnh từ 2000 – 2180 mm. Những vùng còn lại như vùng ven biển phía nam tỉnh, huyện Tây Sơn, phía đông huyện miền núi Vĩnh Thạnh và lưu vực hạ lưu sông Kôn lượng mưa năm trung bình đạt từ 1610 – 1880 mm trong đó tâm mưa thấp nhất là khu vực Tân An và các xã phía đông huyện Tuy Phước với lượng mưa năm trên dưới 1600 mm [2]

2.2. Mô hình SWAT

2.2.1. Giới thiệu

Mô hình SWAT xây dựng bởi tiến sĩ Jeff Arnold ở Trung tâm phục vụ nghiên cứu nông nghiệp (ARS - Agricultural Research Service) thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA - United States Department of Agriculture). Mô hình được xây dựng nhằm đánh giá và dự đoán các tác động của thực tiễn quản lý đất đai tác động đến nguồn nước, lượng bùn, và lượng hóa chất trong nông nghiệp sinh ra trên một lưu vực rộng lớn và phức tạp với sự không ổn định về các yếu tố như đất, sử dụng đất và điều kiện quản lý trong một thời

gian dài. Mô hình là sự tập hợp những phép toán hồi quy để thể hiện mối quan hệ giữa giá trị thông số đầu vào và thông số đầu ra.

Pha đất trong chu trình thủy văn mô hình SWAT dựa trên phương trình cân bằng nước:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{\text{day}} - Q_{\text{surf}} - E_a - w_{\text{seep}} - Q_{\text{gw}})$$

Trong đó: SW_t là lượng nước trong đất tại thời điểm t ($\text{mm H}_2\text{O}$), SW_0 là lượng nước chứa trong đất tại thời điểm ban đầu ($\text{mm H}_2\text{O}$), R_{day} là lượng mưa trong ngày i ($\text{mm H}_2\text{O}$), Q_{surf} là lượng dòng chảy mặt trong ngày i ($\text{mm H}_2\text{O}$), E_a là

lượng bốc hơi trong ngày i ($\text{mm H}_2\text{O}$), w_{seep} là lượng thấm sâu và lượng nước thoát khỏi đáy phần diện đất trong ngày i ; Q_{gw} là lượng dòng chảy hồi qui trong ngày i ($\text{mm H}_2\text{O}$).

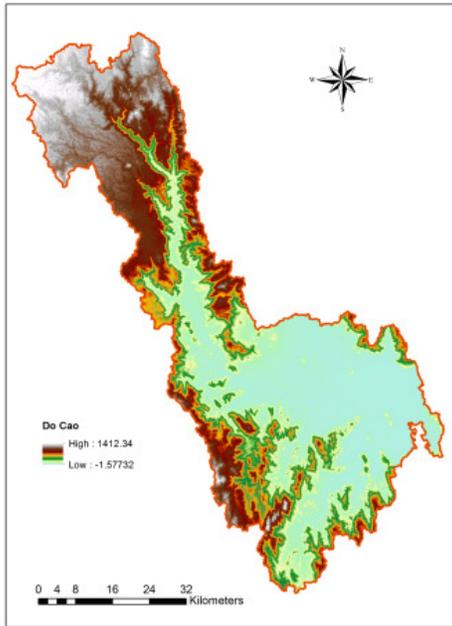
Các quá trình thủy văn chính trong mô hình bao gồm [7]:

- Ước tính dòng chảy mặt sử dụng số hiệu đường cong SCS hoặc phương trình thấm Green–Ampt.
- Mô phỏng thấm qua các lớp trữ nước
- Ước tính dòng chảy mặt sử dụng phương pháp trữ động học.
- Mô phỏng dòng chảy ngầm tới sông từ tầng chứa nước tầng nông
- Ước tính bốc hơi tiềm năng bằng các phương pháp của Hargreaves, Priestley–Taylor hoặc Penman–Monteith method
- Ước tính bốc hơi thực tế (tách biệt bốc hơi từ đất và thoát hơi từ thực vật)

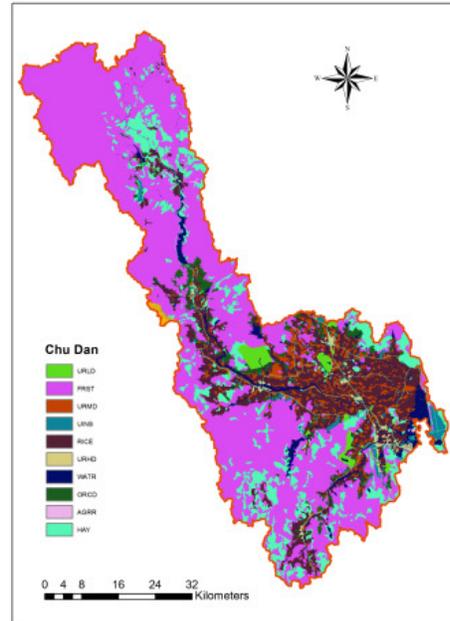
2.2.2. Dữ liệu thu thập

Khu vực nghiên cứu được chia thành 20 tiểu lưu vực và 1320 đơn vị thủy văn HRUs. Mô hình SWAT yêu cầu các dữ liệu về: địa hình, thổ nhưỡng, sử dụng đất, khí tượng:

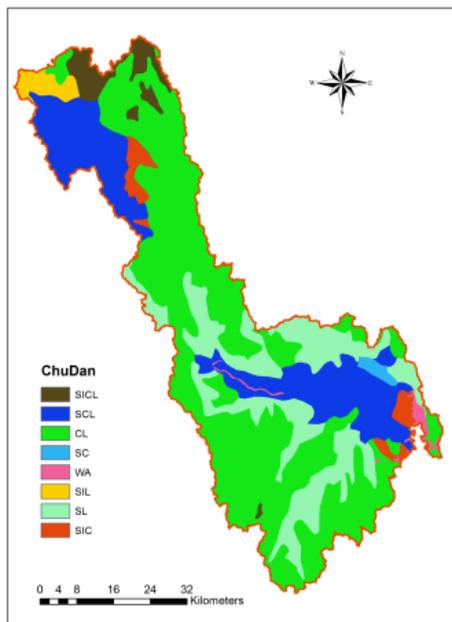
- Địa hình: ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model) với độ phân giải 30×30 m.
- Khí tượng: gồm dữ liệu ngày từ tám trạm mưa (An Nhơn, Bình Tường, Đê Gi, Định Bình, Phù Cát, Vân Canh, Vĩnh Kim, Vĩnh Sơn) và trạm khí tượng Qui Nhơn với các dữ liệu về mưa, nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió, số giờ nắng. Dữ liệu khí tượng ở các trạm được 36 năm (1977 – 2012)
- Sử dụng đất: được lấy từ bản đồ sử dụng đất tỉ lệ 1/50.000. Bản đồ sử dụng đất sẽ được xử lý chuyển về mã đất tương ứng trong SWAT. Trong khu vực nghiên cứu tồn tại các loại hình sử dụng đất chính như: FRST (rừng hỗn hợp), RICE (đất trồng lúa), AGRR (đất nông nghiệp trồng cây hàng năm), WATR (mặt nước), ...
- Thổ nhưỡng: được lấy từ bản đồ thổ nhưỡng 1/1000.000 của FAO. Tương tự, bản đồ thổ nhưỡng sẽ được chuyển về mã đất trong SWAT, trong nghiên cứu này, việc chuyển đổi sẽ dựa trên đặc trưng cơ giới của đất, các loại đất trong khu vực nghiên cứu bao gồm: SICL (silty clay loam), SCL (sandy caly loam), CL (clay loam), SC (sandy clay), WA (water), SIL (silty loam), SL (sandy loam), SIC (silty clay).



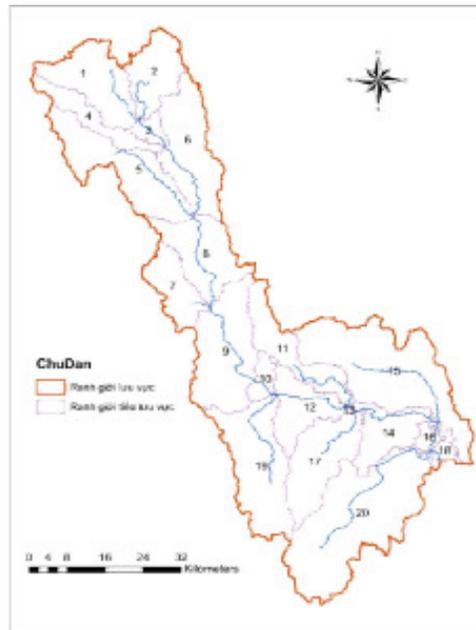
(a)



(b)



(c)



(d)

Hình 2. (a) Mô hình số độ cao; (b) Bản đồ sử dụng đất; (c) Bản đồ thổ nhưỡng; (d) Bản đồ các tiểu lưu vực

2.2.3. SWAT – CUP

Trong nghiên cứu, phần mềm SWAT-CUP với thuật toán Sufi-2 được áp dụng để hiệu chỉnh và đánh giá độ nhạy các tham số. Thuật toán tối ưu Sufi-2 được thực hiện thông qua các bước sau [4]:

- Bước 1: Chương trình hiệu chỉnh viết dữ liệu đầu vào với giới hạn trên dưới mỗi thông số (

hoặc độ thay đổi so giá trị ban đầu của thông số), dữ liệu so sánh thực tế.

- Bước 2: Chỉnh sửa các tập tin đầu vào với giá trị mới của các thông số.
- Bước 3: Mô phỏng và chạy lại mô hình SWAT.
- Bước 4: So sánh chỉ tiêu kiểm tra độ tin cậy của kết quả để đưa ra giá trị của các thông số tối ưu nhất.

3. KẾT QUẢ

3.1. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định

Các tiêu chuẩn dùng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình dùng trong đề tài gồm :

Chỉ số hiệu quả Nash

$$NSI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{tb})^2}$$

Hệ số tương quan Pearson

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{tb})(P_i - P_{tb})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{tb})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P_{tb})^2}} \right)^2$$

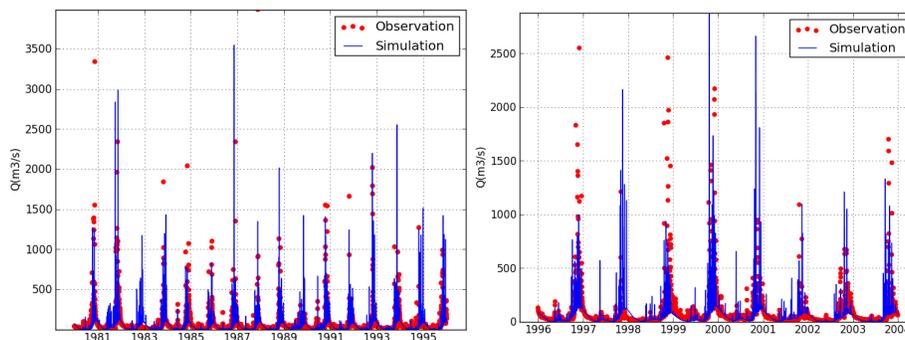
Hệ số sai số phần trăm (percent bias)

$$PBIAS = \frac{100 * \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i}$$

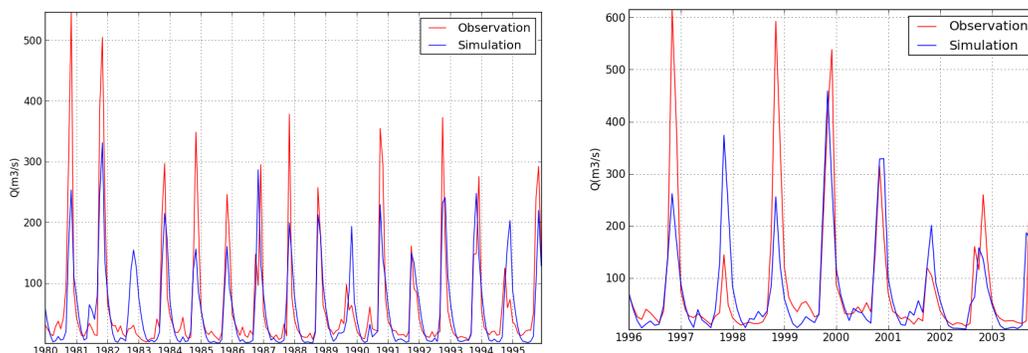
Trong đó : O_i là giá trị thực đo tại thời điểm i , O_{tb} giá trị thực đo trung bình; P_i giá trị mô phỏng tại thời điểm i , P_{tb} giá trị mô phỏng trung bình.

Các tham số của mô hình SWAT được hiệu chỉnh tự động bằng mô hình SWAT-CUP. Số liệu lưu lượng dòng chảy tại trạm thủy văn Bình Tường (1980 – 1995) được dùng để hiệu chỉnh mô hình. Tại bước thời gian ngày, hệ số tương quan R^2 đạt 0,54 hệ số Nash đạt 0,5, hệ số PBIAS bằng 15,01 %; với bước thời gian tháng thì kết quả hiệu chỉnh khá tốt $R^2 = 0,79$, hệ số Nash bằng 0,68, hệ số PBIAS bằng 14,2%. Theo đánh giá của Moriasi [8] thì mô hình có độ tin cậy ở mức Tốt.

Số liệu lưu lượng trạm thủy văn Bình Tường (1996 – 2003), được dùng trong giai đoạn kiểm định mô hình. Tại giai đoạn kiểm định, hệ số tương quan R^2 và hệ số Nash, hệ số PBIAS lần lượt là 0,52; 0,47 và 15,47%; với bước thời gian tháng thì hệ số $R^2 = 0,74$, hệ số Nash = 0,56, hệ số PBIAS bằng 14,5%.



Hình 3. Kết quả hiệu chỉnh(trái), kiểm định (phải) với bước thời gian ngày



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh (trái), kiểm định (phải) với bước thời gian tháng

3.2. Kết quả đánh giá độ nhạy và độ bất định

Tổng cộng 14 tham số được tham gia trong quá trình hiệu chỉnh với kết quả đánh giá độ nhạy theo bảng sau:

Bảng 1. Kết quả đánh giá độ nhạy

Tham số	Miêu tả	Hạng	t-stat	P-value
r_SOL_K(1).sol	Độ dẫn thủy lực của đất tại điểm bão hòa nước	1	5.45	0.00
v_CH_K2.rte	Độ dẫn thủy lực của sông chính	2	4.26	0.00
r_CN2.mgt	Số đường cong SCS	3	-3.55	0.00
r_CANMX.hru	Độ trữ tán cây lớn nhất	4	-1.98	0.06
v_CH_N2.rte	Hệ số nhám của sông chính	5	1.63	0.11
v_GW_REVP.gw	Hệ số bốc hơi tầng ngầm	6	-1.44	0.16
v_ALPHA_BF.gw	Hệ số dòng chảy cơ bản	7	-1.37	0.18
r_SOL_Z(1).sol	Độ dày tầng đất	8	-1.20	0.24
v_SURLAG.bsn	Độ trễ dòng chảy mặt	9	-1.14	0.26
v_GW_DELAY.gw	Thời gian trễ dòng chảy ngầm	10	-1.10	0.28
v_ESCO.hru	Hệ số hao hụt bốc hơi của đất	11	-0.70	0.49
r_SOL_AWC(1).sol	Khả năng chứa nước của đất	12	0.35	0.73
v_GWQMN.gw	Độ sâu xảy ra dòng chảy hồi qui	13	0.29	0.77
r_EPCO.hru	Hệ số lấy nước của thực vật	14	-0.21	0.83

Theo kết quả qua phân tích độ nhạy có thể nhận thấy các tham số có thể chia làm 3 nhóm: nhóm có độ nhạy cao gồm ba tham số có độ nhạy cao nhất: SOL_K, CH_K2, CN2; nhóm tham số có độ nhạy trung bình gồm các tham số có hạng

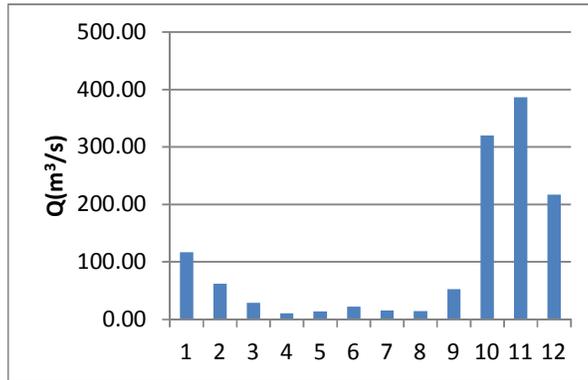
từ 4 tới 10; nhóm có độ nhạy thấp là các tham số có hạng từ 10 đến 14.

3.3. Tiềm năng dòng chảy lưu vực

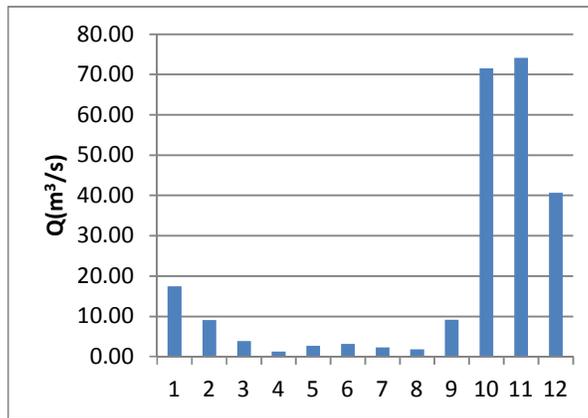
Từ kết quả mô phỏng dòng chảy bằng mô hình SWAT, lưu lượng của các nhánh đổ vào đầm Thị Nại được trích xuất và tính toán. Kết

qua cho thấy lưu lượng trung bình của sông Kôn đổ vào đầm Thị Nại vào khoảng 105,16 m³/s,

sông Hà Thanh khoảng 19,77 m³/s, với sự chênh lệch rất lớn giữa mùa kiệt và mùa lũ.



Hình 5. Biểu đồ lưu lượng trung bình tháng sông Kôn



Hình 6. Biểu đồ lưu lượng trung bình tháng sông Hà Thanh

Bảng 2. Trung bình dòng chảy tháng lưu vực sông Kôn và sông Hà Thanh

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sông Kôn (m ³ /s)	116.7	62.5	29.1	10.8	13.9	22.2	15.4	14.5	52.8	320.1	386.5	217.5
Sông Hà Thanh (m ³ /s)	17.5	9.1	3.9	1.3	2.8	3.2	2.2	1.8	9.2	71.5	74.2	40.7

4. KẾT LUẬN

Lưu vực sông Kôn, thượng lưu đầm Thị Nại là một khu vực có diện tích lớn, với biến động khá phức tạp của địa hình và các yếu tố khí tượng. Các yếu tố này làm công tác mô phỏng thủy văn ở đây gặp nhiều khó khăn như: số liệu

khí tượng chỉ có duy nhất ở trạm Qui Nhơn trong khi nhiệt độ và lượng mưa biến động khá lớn theo địa hình, điều này làm tăng độ bất định của các dữ liệu đầu vào của mô hình dẫn đến làm tăng độ bất định của kết quả mô phỏng, những

bất định này lại không thể làm giảm đi bằng quá trình hiệu chỉnh. Việc mô phỏng thủy văn ở đây có những khó khăn hạn chế nhất định, nhưng với dữ liệu đầu vào có thời gian dài (36 năm) nên các kết quả đầu ra đều có tính đặc trưng và đảm bảo

ý nghĩa về mặt thống kê. Kết quả mô phỏng về dòng chảy có thể dùng cho những nghiên cứu về cân bằng nước trên lưu vực hay làm đầu vào cho mô hình lan truyền chất và vận chuyển bùn cát trong đầm Thị Nại.

Application of swat model in assesment water resources of upper stream of Thi Nai lagoon serving sustainable develoment of Binh Dinh province

• Nguyen Hong Quan

• Mai Toan Thang

Institute for Environment and Resources, ĐHQG-HCM

ABSTRACT

Water resources from Kôn and Hà Thanh river basin, upstream areas of Thi Nai lagoon plays a very essential role on hydrological in economic – social development of Binh Dinh province. Assesment of potential water resources in the region can be servered for water resources planning toward sustainable development. In this paper, the SWAT model was applied in this study to evaluate river flow in the rivers. The simulation data were used with with the length of meteorological input data up to 36 years. The parameters of model were calibrated by SWAT-CUP with Sufi-2 algorithm (Semi

Automated Sequential Uncertainty Fitting) using data of Binh Tuong discharge station(1980-1995), that also used to analyze parameter sensitivity. The coefficient of determination (R^2), NSE values and PBIAS index for the daily runoff were obtained as 0,54; 0,51 and 15,01 % .The average input flow to Thi Nai lagoon were 105,16 m^3/s (from Kon river) and 19,77 m^3/s (from Ha Thanh river). The results of this study can be used for others research such as water balance calculation in the river basin or it can be used as inputs of water quality and sediment transport model in Thi Nai lagoon.

Keywords: Thi Nai lagoon, Kon river, Ha Thanh river, SWAT, SWAT-CUP, Sufi-2

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Ahmed Nasr, Michael Bruen, Philip Jordan, Richard Moles, Gerard Kiely, Paul Byrne

2007. A comparison of SWAT, HSPF and SHETRAN/GOPC for modelling phosphorus

- export from three catchments in Ireland, *Water research* 41, 1065– 1073.
- [2]. Đài khí tượng thủy văn khu vực Nam trung bộ 2004, Đặc điểm khí hậu – thủy văn tỉnh Bình Định.
- [3]. J.G.Arnold, J.Rkiniry, R.Srinivasan, and etc. September (2011), Soil and water assessment tool – Input/output file documentation version 2009.
- [4]. Karim C. Abbaspour 2011, SWAT-CUP4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual.
- [5]. M.Winchell, R.Srinivasan, M. Di Luzion, J. Arnold (2010), *Arcswat interface for SWAT* 2009 – User’s guide.
- [6]. MiSeon Lee, GeunAe Park, MinJi Park, JongYoon Park, JiWan Lee, SeongJoon Kim 2010, Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imager, *Journal of Environmental Sciences* 22(6) 826–833.
- [7]. Mikołaj Piniewski and Tomasz Okruszko (2011), Multi-Site Calibration and Validation of the Hydrological Component of SWAT in a Large Lowland Catchment, *Geoplanet: Earth and Planetary Sciences*.
- [8]. Moriasi, D. N., et al. (2007), Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE* 50(3): 885–900.