



ارزیابی عملکرد مدل تلفیقی ظرفیت نفوذ متغیر و روندیابی جریان در حوضه آبریز سفید رود

لاله پرویز^{۱*} - مجید خلقی^۲ - پرویز ایران نژاد^۳ - شهاب عراقی نژاد^۴ - خلیل ولیزاده^۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۵

چکیده

مدل های سطح زمین در برآورد توزیع رطوبت و دمای خاک، میزان تبخیر و تعرق، جریان رودخانه بعثت تاکید بر فرآیند های دینامیکی و فیزیکی سطح زمینی، از اهمیت چشمگیری برخوردار هستند. در این تحقیق از مدل سطح زمین VIC جهت برآورد دمای سطح زمین و جریان رودخانه استفاده گردید. در مدل VIC، شبیه سازی رواناب در هر سلول شبکه براساس مکانیسم رواناب مازاد نفوذ و رواناب مازاد اشباع می باشد. همچنین جهت روندیابی جریان درون سلولی و بین سلولی، مدل VIC با مدل روندیابی تلفیق شده است. جهت اجرای مدل VIC، حوضه آبریز سفید رود به ۱۸ سلول با ابعاد ۵۷ کیلومتر براساس نقشه DEM حوضه تقسیم شد. مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه سازی در ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه، مبین افزایش ضریب Nash بهنگام استفاده از روش معکوس مجذور فاصله تصحیح شده نسبت به ارتفاع بعنوان روش درون یابی داده های هواشناسی در هر سلول می باشد. آماره های محاسبه شده، حاکی از برآورد دمای سطح زمین با دقت بیشتر در حالت بیلان انرژی مدل VIC نسبت به حالت بیلان آبی است. مدل VIC در مکانیسم شبیه سازی رواناب نسبت به پارامتر شکل ظرفیت نفوذ از حساسیت بیشتری برخوردار است بطوری که پارامتر شکل ظرفیت نفوذ هم بر جریان سطحی و هم بر جریان زیر سطحی تاثیر گذار است ولی تاثیر این پارامتر بر جریان سطحی بیشتر است. جریان زیر سطحی نیز متأثر از پارامترهای W_s و D_s می باشد. مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه سازی با پارامترهای واسنجی مدل در برخی از ایستگاه های هیدرومتری حوضه، حاکی از توانایی مدل در شبیه سازی جریان رودخانه است.

واژه های کلیدی: مدل سطح زمین هیدرولوژیکی، مدل VIC، حوضه آبریز سفید رود، پارامتر شکل ظرفیت نفوذ

مقدمه

توصیف فرآیندهای درونی چرخه هیدرولوژیکی در مقیاس های زمانی و مکانی با دقت بالا، حل توأم بیلان انرژی و رطوبتی گزینه مناسبی در برآورد متغیرهایی مانند توزیع رطوبت و دمای خاک،... بنظر می رسند.

از جمله تفاوت های مدل های سطح زمین در نحوه مدل سازی مکانیسم جریان رودخانه، جریان رودخانه تکمیل کننده چرخه هیدرولوژیکی است، می باشد. مدل سطح زمین هیدرولوژیکی VIC^۶ در شبیه سازی جریان رودخانه از مکانیسم های رواناب مازاد اشباع و رواناب مازاد نفوذ با احتساب تغییرات مکانی پارامترها استفاده می کند. ود و همکاران (۱۰) اولین بار مدل VIC را با فرضیات تک لایه ای بودن خاک ارائه کردند. لیانگ و همکاران (۲) مدل VIC را با در نظر گرفتن ۲ لایه خاک، نمایش آیرودینامیک شار حرارتی محسوس و نهان توسعه دادند. لیانگ و همکاران (۳) با مقایسه تغییرات رطوبت در لایه های ۰/۵ و ۱/۶ متری از سطح خاک، به ضرورت در نظر گرفتن پدیده دیفیوژن جهت انتقال آب از لایه های پایین تر به لایه

برآورد صحیح و دقیق توزیع رطوبت و دمای خاک، میزان تبخیر و تعرق، میزان جریان رودخانه در مطالعات هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و اقلیمی از اهمیت چشمگیری برخوردار است. در این میان مدل های سطح زمین با تاکید بر بیلان انرژی و رطوبتی در نمایش فرآیند های دینامیکی و فیزیکی سطح زمینی، نقش مهمی را بازی می کنند. بنابراین استفاده از مدل سازی یکپارچه که بتواند چرخه هیدرولوژیکی را با در نظر گرفتن متغیرهای غالب هواشناسی، خاکشناسی، گیاهشناسی و هیدرولوژیکی موثر در این چرخه بطور کامل شبیه سازی نماید، از تاثیر بسزایی برخوردار است. مدل های سطح زمین با توانایی قوی در

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه آب و آبادانی، دانشکده

مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

*-نویسنده مسئول: (Email:laleh_parviz@yahoo.com)

۳- دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۵- مربی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز

تعیین داده های هواشناسی در سلول های فاقد آمار استفاده شد و با توجه به کارایی پایین روش معکوس مجذور فاصله، این روش با در نظر گرفتن اثرات ارتفاع علاوه بر اثرات فاصله در درون یابی داده های هواشناسی، تصحیح شد.

مواد و روش ها

مدل VIC یک مدل سطح زمین بزرگ مقیاس با قابلیت تحلیل کارآمد در شبیه سازی بیلان رطوبتی و انرژی است. این مدل شامل مدلسازی فرآیندهای عمودی مانند تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، زیر سطحی و مدلسازی فرآیندهای افقی از جمله روندیابی جریان می باشد. در این مدل حوضه آبریز به سلول های مختلف تقسیم می شود که باید در هر سلول نوع و پارامترهای خاک و پوشش گیاهی مشخص شوند. مدلسازی هر سلول بصورت جداگانه انجام می گیرد بطوری که رواناب در هر سلول به انتهای آن سلول روندیابی و سپس جریان خروجی از هر سلول به شبکه رودخانه روندیابی می شود. شکل ۱ فلوجارت عملکرد مدل VIC را نشان می دهد.

مجموع تبخیر و تعرق در این مدل شامل تبخیر از خاک لخت، تعرق از گیاه و تبخیر از تاج گیاهی است. هر کدام از اجزاء تبخیر و تعرق تابعی از تبخیر و تعرق پتانسیل می باشند که تبخیر و تعرق پتانسیل در مدل VIC از معادله پنمن-ماتیت^۱ محاسبه می شود (۲).

رواناب سطحی

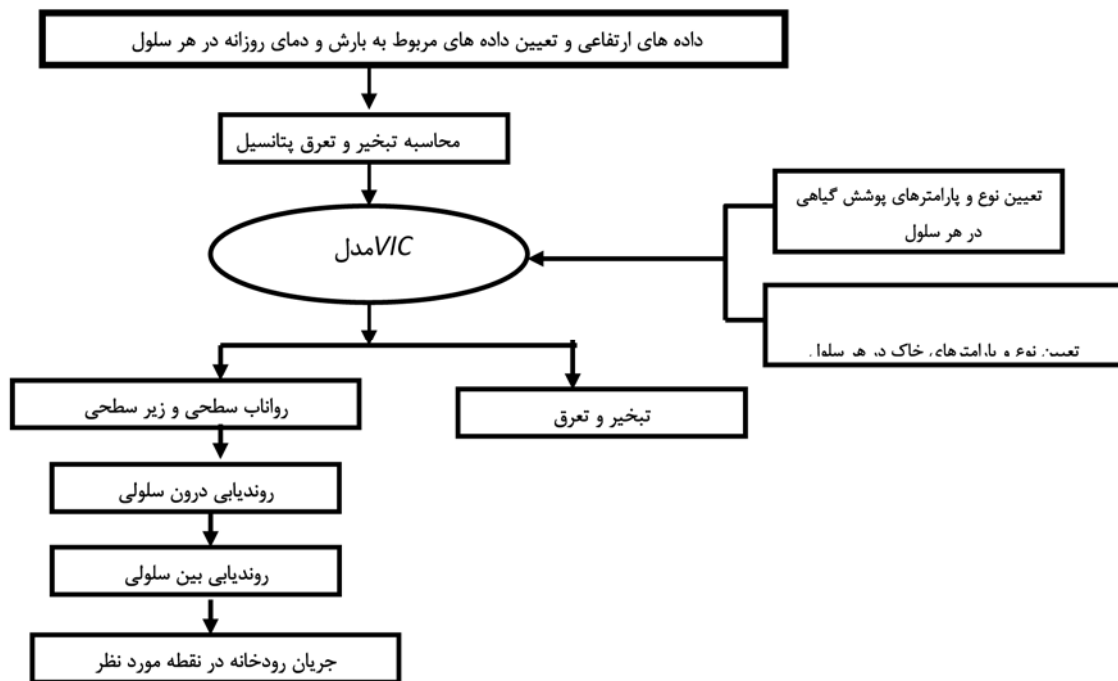
مکانیسم تولید رواناب سطحی در مدل VIC بر اساس تغییرات مکانی ظرفیت نفوذ است که بصورت رابطه ۱ نشان داده شده است (۲-۷).

$$i = i_m \left[1 - (1 - A)^{1/b_i} \right] \quad (1)$$

i : ظرفیت نفوذ، i_m : ماکزیمم ظرفیت نفوذ، A : کسری از مساحت کل که دارای ظرفیت نفوذ کمتر از i است b_i : پارامتر شکل ظرفیت نفوذ. پارامتر شکل ظرفیت نفوذ نشان دهنده تغییرات مکانی ظرفیت نفوذ است بطوری که مقدار صفر آن مبین حوضه ای است با عملکرد مشابه مخزن می باشد که امکان تولید رواناب وجود ندارد. با استفاده از رابطه ۱ و فرضیه مدل Xinanjiang که تولید رواناب در هر گام زمانی وابسته به تجاوز مجموع بارش در همان گام زمانی و رطوبت خاک در انتهای گام زمانی قبلی از ظرفیت ذخیره خاک می باشد، روابط مربوط به تولید رواناب سطحی در مدل VIC بصورت رابطه ۲ خواهد بود (۲).

های بالاتر در دوره های بحرانی (از نظر رطوبت) و استفاده از سه لایه بجای دو لایه خاک پی بردند. لیانگ و اکسی (۵) ضرورت استفاده از مکانیسم هورتن (رواناب مازاد نفوذ) را به علت برآورد کم جریان سطحی و بالای جریان پایه بهنگام استفاده از مکانیسم دان (رواناب مازاد اشباع) بیان کردند. زینگیو اکسی و همکاران (۱۳) به شبیه سازی جریان ماهانه رودخانه در حوضه رودخانه زرد با مدل سطح زمین VIC و روندیابی جریان درون سلولی براساس هیدروگراف واحد و جریان بین سلولی براساس روش سنت و نانت خطی پرداختند. پارامترهای مربوط به کلاسه بندی خاک از سازمان هیدرولوژیکی NOAA، پوشش گیاهی هم از رادیومتر AVHRR و داده های هواشناسی از اطلاعات ۷۵۰ ایستگاه هواشناسی بدست آمدند. اکسی و یوان (۱۱) از واسنجی دستی جهت تخمین پارامترهای پارامتر شکل ظرفیت نفوذ، پارامترهای جریان زیر زمینی و عمق لایه دوم در دوازده حوضه فرانسه استفاده کردند. مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه سازی حاکی از حساسیت مدل به پارامترهای پارامتر شکل ظرفیت نفوذ و عمق لایه دوم نسبت به پارامترهای جریان زیر سطحی بود. اکسی و همکاران (۱۲) روش تخمین پارامتر منطقه ای را برای تخمین پارامترهای مدل VIC با هدف بهبود شبیه سازی جریان رودخانه در حوضه های کشور چین بکار بردند. به این صورت که منطقه مورد مطالعاتی از نظر آب و هوایی به شش ناحیه تقسیم شد و بعد از تخمین پارامترها در تعداد محدودی حوضه های واسنجی شده، از پارامترهای تخمینی در حوضه های واسنجی نشده براساس مشخصه های آب و هوایی جهت شبیه سازی جریان رودخانه استفاده کردند. نتایج تحقیق شامل کاهش اریبی و خطای مدل، افزایش کارایی با این روش واسنجی مدل بود. دماریا و همکاران (۱) از روش مونت کارلو جهت آنالیز حساسیت مدل VIC استفاده کردند. نتایج مبین حساسیت مدل نسبت به پارامتر شکل ظرفیت نفوذ با هدف شبیه سازی جریان رودخانه بود. همچنین حساسیت مدل به توزیع ریشه گیاهان نسبت به ضخامت لایه دوم خاک بیشتر است. ماو و چرکار (۸) تاثیر تغییرات کاربری اراضی را بر روی عکس العمل هیدرولوژیکی در منطقه دریاچه گریت توسط مدل VIC مورد بررسی قرار دادند. در مقیاس منطقه ای تغییرات شبیه سازی شده ناشی از تغییرات کاربری اراضی بصورت مکانی و فصلی تغییر پیدا می کند بطوری که در مناطق مرکزی محدوده مطالعاتی، نتایج جنگل زدایی شامل کاهش ۵ تا ۱۵ درصد تبخیر و تعرق، افزایش ۱۰ تا ۳۰ درصد رواناب کل بود.

هدف این مقاله ارزیابی عملکرد مدل سطح زمین VIC در برآورد دمای سطح زمین و جریان رودخانه در حوضه آبریز سفیدرود می باشد. از جمله پارامترهای ورودی مدل VIC، پارامترهای پوشش گیاهی هستند که برخی از پارامترهای پوشش گیاهی از اطلاعات مربوط به تصاویر ماهواره ای MODIS حاصل شدند. شایان ذکر است که در این تحقیق اجرای مدل VIC برخلاف تحقیقات گذشته در سیستم Windows انجام گرفته است. از روش معکوس مجذور فاصله جهت



شکل ۱- فلوجارت عملکرد مدل VIC

Q_{12} : میزان جریان از لایه اول به دوم، K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع،
 W_1 : رطوبت خاک لایه اول، W_1^c : ماکزیمم مقدار رطوبت لایه اول،
 θ_r : رطوبت باقی مانده، B_p : نمایه توزیع اندازه ذرات خاک.

رواناب زیر سطحی (جریان پایه)

فرمولبندی رواناب زیر سطحی در مدل VIC براساس مفاهیم مدل آرنو^۲ است. شکل ۲ نمودار رطوبت خاک در لایه ۲ را در برابر جریان پایه را نشان می دهد که در رطوبت های پایین نمودار بصورت خطی و در رطوبت های بالا بصورت غیرخطی است (۲). بنابراین در مدل VIC جریان پایه تابعی از رطوبت خاک لایه ۲ و براساس رابطه ۵ تعریف می شود.

$$Q_b = \frac{D_s D_m}{W_s W_2^c} W_2^- \quad 0 \leq W_2^- \leq W_s W_2^c \quad (الف ۵)$$

$$Q_b = \frac{D_s D_m}{W_s W_2^c} W_2^- + (D_m - \frac{D_s D_m}{W_s}) (\frac{W_2^- - W_s W_2^c}{W_2^c - W_s W_2^c})^2 \quad W_2^- \geq W_s W_2^c \quad (ب ۵)$$

Q_b : رواناب زیر سطحی، D_m : ماکزیمم جریان زیر سطحی، D_s : کسری از D_m ، W_2^c : ماکزیمم رطوبت خاک در لایه دوم، W_s : کسری از W_2^c بطوری که $W_s \geq D_s$. W_2^- : رطوبت خاک لایه ۲ در آغاز گام زمانی.

$$Q_d \Delta t = P \Delta t - W_1^c + W_1^-, \quad i_0 + P \Delta t \geq i_m \quad (الف ۲)$$

$$Q_d \Delta t = P \Delta t - W_1^c + W_1^- + W_1^c \left[1 - \frac{i_0 + P \Delta t}{i_m} \right]^{1+b_i}, \quad i_0 + P \Delta t \leq i_m \quad (ب ۲)$$

Q_d : رواناب سطحی (مستقیم)، P : بارش، W_1^- : رطوبت خاک در لایه اول در آغاز گام زمانی، W_1^c : ماکزیمم مقدار رطوبت لایه اول، A_s : درصد مساحت قسمت اشباع i_0 : ظرفیت نفوذ مربوط به A_s ، Δt : گام زمانی، b_i : پارامتر شکل ظرفیت نفوذ، i_m : ماکزیمم ظرفیت نفوذ. بارش در قسمت های مربوط به خاک لخت برابر میزان واقعی بارش و در قسمت های با پوشش گیاهی برابر تفاضل گیرش از بارش می باشد. بطور کلی می توان بیان آبی لایه اول را بصورت رابطه ۳ بیان کرد.

$$W_1^+ = W_1^- + (P - Q_d - Q_{12} - E_1) \Delta t \quad (۳)$$

W_1^+ : رطوبت خاک لایه اول در پایان گام زمانی، W_1^- : رطوبت خاک لخت لایه اول در آغاز گام زمانی، P : بارش، Q_d : رواناب سطحی، E_1 : تبخیر-تعرق، Δt : گام زمانی، Q_{12} : میزان جریان از لایه اول به دوم که میزان جریان براساس رابطه بروکس-کوری^۱ بیان می شود (۲).

$$Q_{12} = k_s \left(\frac{W_1 - \theta_r}{W_1^c - \theta_r} \right)^{\frac{2}{B_p} + 3} \quad (۴)$$

شار حرارتی محسوس براساس رابطه ۸ و شار حرارتی زمینی از ترکیب شار حرارتی لایه اول و دوم بصورت رابطه ۹ بیان می شود که برحسب دمای سطح زمین نوشته شده اند.

$$H = \frac{\rho_a C_p}{r_h} (T_s - T_a) \quad (۸)$$

H : شار حرارتی محسوس، ρ_a : دانسیته جرمی هوا، C_p : گرمای مخصوص هوا در فشار ثابت، r_h : مقاومت آیرودینامیکی، T_s : دمای سطح زمین، T_a : دمای هوا.

$$G = \frac{\frac{\kappa}{D_2} (T_s - T_2) + \frac{C_s \cdot D_2}{2 \cdot \Delta t} (T_s - T_1^-)}{1 + \frac{D_1}{D_2} + \frac{C_s \cdot D_1 \cdot D_2}{2 \cdot \Delta t \cdot \kappa}} \quad (۹)$$

G : شار حرارتی زمینی، κ : هدایت گرمایی خاک، D_1 : عمق لایه اول حدوداً ۵۰ میلیمتر، D_2 : عمق لایه دوم، T_2 : دما در عمق D_2 ، C_s : ظرفیت گرمایی خاک، T_1^- : دمای خاک لایه اول در آغاز گام زمانی، T_s : دمای سطح زمین.

تابش خالص نیز براساس رابطه ۱۰ حاصل می شود.

$$R_n = (1 - \alpha) R_s + \varepsilon (R_L - \sigma T_s^4) \quad (۱۰)$$

R_n : تابش خالص، α : ضریب آلبیدو، R_s : تابش خالص طول موج کوتاه، R_L : تابش خالص طول موج بلند، σ : ثابت استفان-بولتزمان، ε : قابلیت انتشار.

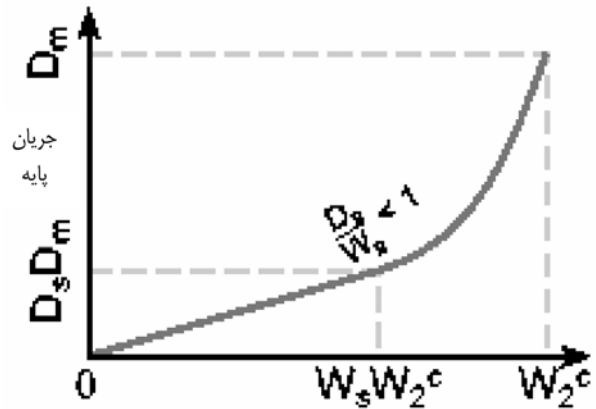
بعد از مساوی قرار دادن روابط مربوط به محاسبات تابش خالص و قرار دادن شارهای حرارتی بر حسب دمای سطح زمین، معادله ۱۱ بدست می آید که از حل آن دمای سطح زمین قابل حصول می باشد.

$$\varepsilon \sigma T_s^4 + \left(\frac{\rho_a C_p}{r_h} + \frac{\kappa + \frac{C_s D_2}{2 \Delta t}}{1 + \frac{D_1}{D_2} + \frac{C_s D_1 D_2}{2 \Delta t \kappa}} \right) T_s = (1 - \alpha) R_s + \varepsilon R_L + \frac{\rho_a C_p}{r_h} T_a \quad (۱۱)$$

$$-\rho_w L_e E + \frac{\kappa T_2 + \frac{C_s D_2 T_1^-}{2 \Delta t}}{1 + \frac{D_1}{D_2} + \frac{C_s D_1 D_2}{2 \Delta t \kappa}}$$

σ : ثابت استفان-بولتزمان، ε : قابلیت انتشار، T_s : دمای سطح زمین، ρ_a : دانسیته جرمی هوا، C_p : گرمای مخصوص هوا در فشار ثابت، r_h : مقاومت آیرودینامیکی مربوط به گرما، κ : هدایت حرارتی خاک، D_1 : عمق لایه اول، D_2 : عمق لایه دوم، C_s : ظرفیت گرمایی خاک، Δt : گام زمانی، R_s : تابش خالص طول موج کوتاه، R_L : تابش خالص طول موج بلند، ρ_a : دانسیته جرمی هوا، T_a : دمای هوا، T_1^- : دمای خاک لایه اول در آغاز گام زمانی.

در حالت بیان آبی اجرای مدل VIC، دمای سطح زمین برابر دمای هوا فرض می شود ولی در حالت بیان انرژی از یک روند تکراری جهت محاسبه دمای سطح زمین استفاده می شود. گام اول شامل برابری دمای سطح زمین با دمای هوا است گام دوم شامل



شکل ۲- نمودار شماتیک جریان پایه مدل آرنو رطوبت خاک در لایه ۲

روندیابی جریان

جریان سطحی و زیر سطحی شبیه سازی شده در هر سلول توسط مدل VIC ابتدا به خروجی سلول (روندیابی درون سلولی، براساس هیدروگراف واحد) و سپس به شبکه رودخانه (روندیابی بین سلولی) روندیابی می شود که در شکل ۳ هیدروگراف قبل و بعد از روندیابی نشان داده شده است.

روندیابی بین سلولی براساس معادلات سنت ونانت است که هیدروگراف واحد در روندیابی بین سلولی بصورت رابطه ۶ تعریف می شود. تاخیر زمانی روندیابی بین سلولی تعریف شده براساس سرعت جریان و فاصله طی شده (مراکز بین سلولی) است (۷).

$$h(x, t) = \frac{x}{2t\sqrt{\pi t D}} \exp\left(-\frac{(Ct - x)^2}{4Dt}\right) \quad (۶)$$

$h(x, t)$: تابع جواب ایملپالس، C : سرعت جریان، D : ضریب دیفیوژن، x : مسافت طی شده.

دمای سطح زمین

مدل سطح زمین VIC جهت محاسبه دمای سطح زمین از بیان انرژی سطح زمین و خصوصیات حرارتی خاک استفاده می کند بطوری که از برابری معادلات ۷ و ۱۰ و قرار دادن طرفین معادله براساس دمای سطح زمین، معادله ۱۱ جهت محاسبه دمای سطح زمین حاصل می شود. رابطه بیان انرژی بصورت رابطه ۷ تعریف می شود (۲).

$$R_n = H + \rho_w L_e E + G \quad (۷)$$

R_n : تابش خالص، H : شار حرارتی محسوس، ρ_w : دانسیته آب، L_e : گرمای نهان تبخیر، $\rho_w L_e E$: شار حرارتی نهان، G : شار حرارتی زمینی.

اجرای مدل VIC جهت اجرا در سیستم Windows، در شکل ۴ نشان داده شده است.

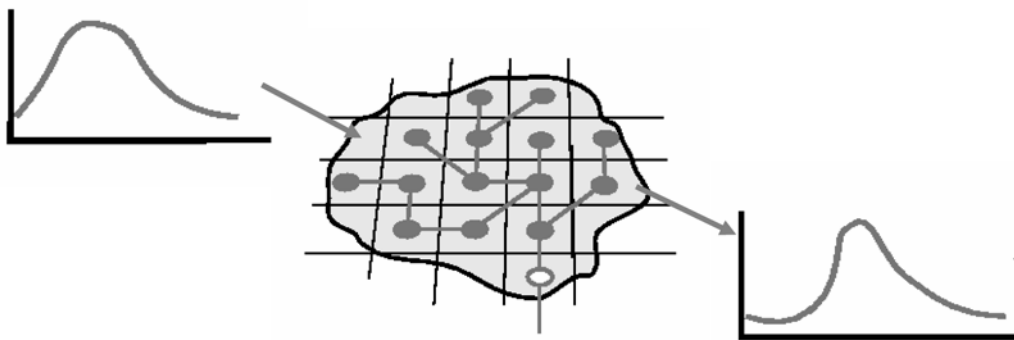
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سفیدرود در محل تلاقی رشته کوه های البرز، زاگرس و مرکزی بین مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 46'$ $13^{\circ} 51'$ طول شرقی و $55^{\circ} 34'$ $52^{\circ} 37'$ عرض شمالی قرار دارد. مساحت حوضه آبریز 60494 کیلومتر مربع است که حدود 44927 کیلومتر مربع آن را مناطق کوهستانی و 15567 کیلومتر مربع آن را دشت ها و کوهپایه ها تشکیل می دهند. نقشه خاک و پوشش گیاهی حوضه سفید رود در شکل ۵ نشان داده شده است. اراضی زراعی و دیم (۳۲/۵۸ درصد)، مراتع متوسط (۱۹/۰۶ درصد)، جنگل انبوه (۱۷/۷ درصد)، مخلوط کاربری دیم (۱۰/۴۶ درصد) و مرتع ضعیف (۷/۴ درصد) به ترتیب بیشترین درصد مساحت حوضه را به خود اختصاص داده اند.

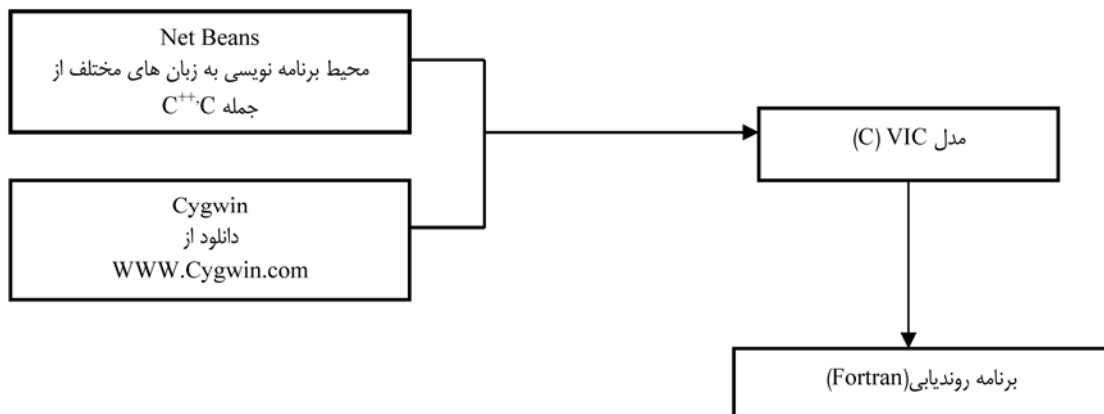
محاسبه اجزا تبخیر - تعرق و سپس حل معادله جهت محاسبه دمای سطح زمین. گام سوم استفاده از دمای سطح زمین گام قبلی جهت تعیین اجزاء تبخیر - تعرق. گام چهارم شامل حل معادله جهت محاسبه دمای سطح زمین. در صورت برقراری معیار توقف، دمای سطح زمین برابر دمای سطح زمین آخرین مرحله می باشد.

نحوه اجرای مدل VIC

مدل VIC و روندیابی به زبان های C و Fortran می باشند. اجرای VIC در سیستم های LINUX امکان پذیر است ولی در این تحقیق سعی در اجرای مدل VIC در سیستم Windows شده است. برای این منظور یک محیط برنامه نویسی به نام Net Beans داندلود شد که در آن امکان برنامه نویسی به زبان های مختلف از جمله C، C++، Java وجود دارد. علاوه بر این نیاز به کامپایلر C است که از کامپایلر Cygwin جهت این منظور استفاده شد. عملکرد مدل VIC و روندیابی بصورت تلفیقی می باشد بطوری که بعد از اجرای مدل VIC، مدل روندیابی از خروجی های تولید شده در هر سلول جهت روندیابی درون سلولی و برون سلولی استفاده می کند. بطور کلی نحوه



شکل ۳- نمایش هیدروگراف قبل و بعد از روندیابی



شکل ۴- نحوه اجرای مدل VIC در سیستم Windows

نتایج و بحث

برگ، طول زبری، جابجایی سطح صفر و آلبیدو استفاده شد که بعنوان مثال در شکل ۷ مقادیر طول زبری بر حسب متر نشان داده شده است. پوشش های گیاهی متراکم دارای ماکزیمم مقدار طول زبری می باشند. استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS در تحقیقات قبلی در استخراج پارامترهای پوشش گیاهی مدل VIC کم بوده است که در این تحقیق به علت دقت مکانی تصاویر ماهواره ای MODIS به این مساله نیز پرداخته شد.

تعداد پارامترهای خاک در فایل های ورودی مدل VIC، ۳۰ پارامتر است که برخی از پارامترها مانند هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی از اطلاعات جداول خاکشناسی برای هر نوع بافت خاک بدست می آیند و برخی دیگر مانند رطوبت اولیه خاک از رابطه ۱۲، حاصل می شوند. عمقی که در طول سال دمای خاک ثابت می ماند برابر ۴ متر در نظر گرفته شد.

$$W_{cr} = W_{fc} \cdot depth \quad (12)$$

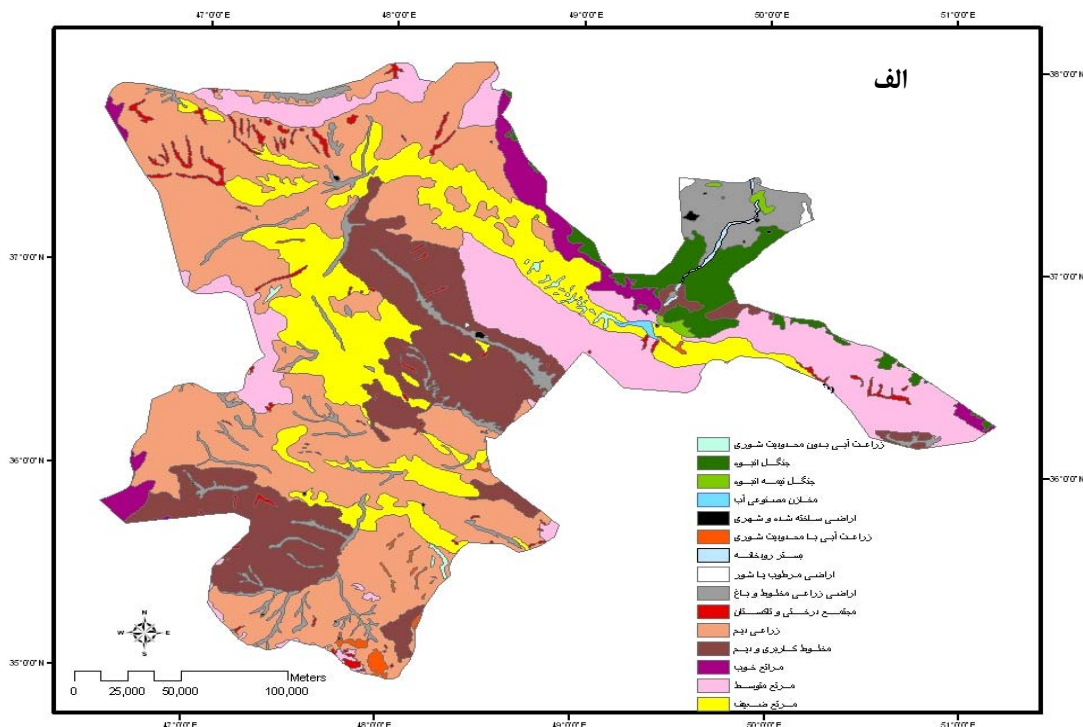
$$W_{cr} = 0.7 W_{fc} \quad (13)$$

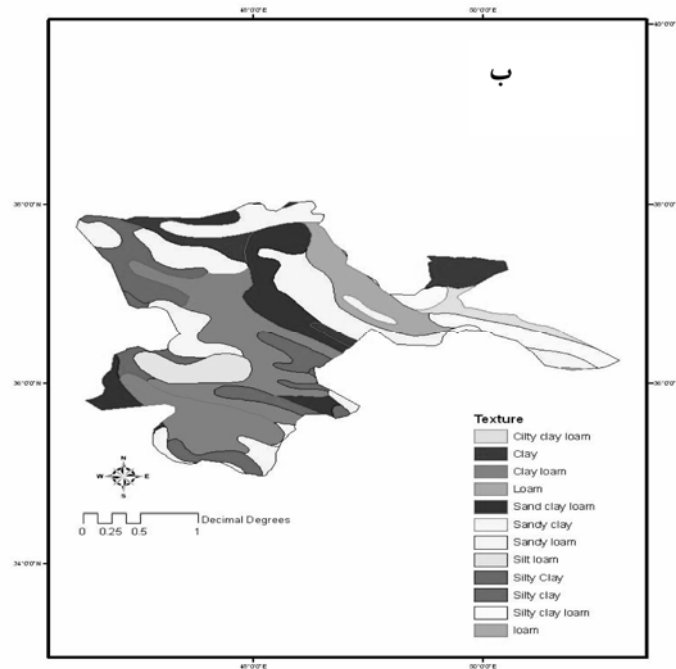
W_{cr} : رطوبت نقطه بحرانی، W_{fc} : رطوبت ظرفیت زراعی، $depth$: عمق هر لایه خاک

اساس مدل VIC تقسیم بندی حوضه آبریز به تعدادی سلول است بطوری که با استفاده از اطلاعات خاکشناسی و پوشش گیاهی هر سلول، بیلان انرژی و آبی هر سلول بصورت جداگانه حل می شوند. بنابراین در این تحقیق براساس نقشه DEM حوضه، حوضه سفیدرود به ۱۸ سلول با ابعاد ۵۷ کیلومتر تقسیم شد. در شکل ۶ حوضه شبکه بندی شده همراه با شبکه آبراهه و برخی از ایستگاه های هیدرومتری حوضه نشان داده شده است.

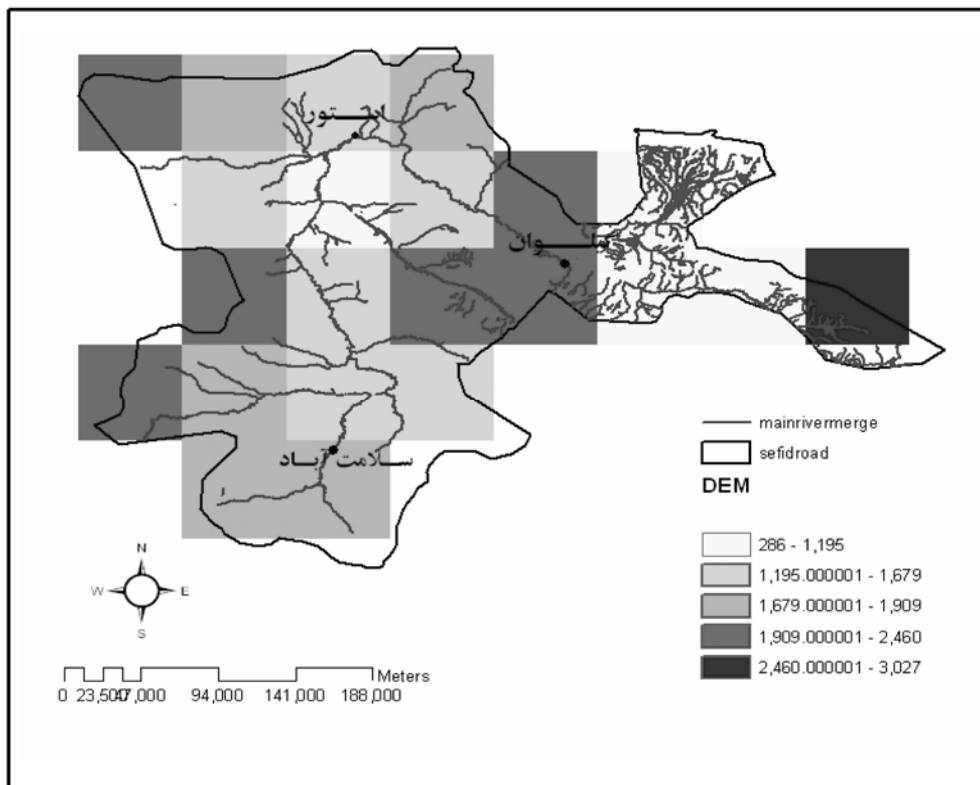
سال های آماری جهت اجرای مدل از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ با گام زمانی روزانه بودند که سال های ۲۰۰۳-۲۰۰۵ بعنوان دوره صحت سنجی در نظر گرفته شدند. اطلاعات هواشناسی از داده های ۱۳ ایستگاه بارانسنجی و ۵۱ ایستگاه هواشناسی حاصل شدند. قابل ذکر است که برخی از ایستگاه های اطراف حوضه نیز انتخاب شدند که ملاک انتخاب براساس روش جرم مضاعف بود.

تعداد پارامترهای پوشش گیاهی در فایل های ورودی مدل ۱۴ تا هستند که بیشتر پارامترهای پوشش گیاهی جهت محاسبات تبخیر و تعرق بکار می روند. در این تحقیق از اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره ای MODIS، اقدام به استخراج پارامترهای شاخص سطح

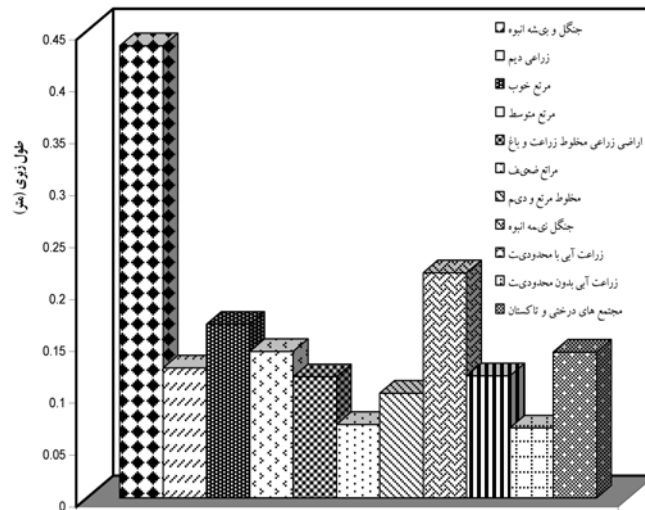




شکل ۵- نقشه پوشش گیاهی (الف) و خاک (ب) حوضه



شکل ۶- نمایش حوضه شبکه بندی شده به همراه ایستگاه های هیدرومتری



شکل ۷- نمودار تغییرات طول زبری درخرداد ماه

(۱۶) خطای ریشه متوسط مربعات باکس- کاکس (RMSEbox-cox^۲)

$$RMSE_{box-cox} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i^* - S_i^*)^2}$$

$$O_i^* = \frac{O_i^\lambda}{\lambda}, \quad S_i^* = \frac{S_i^\lambda}{\lambda}$$

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۱۷) \text{ ضریب نش}$$

O_i : مقادیر مشاهداتی، S_i : مقادیر شبیه سازی، n : تعداد داده ها، \bar{O} : میانگین مقادیر مشاهداتی، O_i^* : مقادیر مشاهداتی تبدیل یافته، S_i^* : مقادیر شبیه سازی تبدیل یافته، λ : پارامتر معادله (۱).

مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه سازی حاکی از بهبود نتایج شبیه سازی با دخالت اثر ارتفاع است. به عنوان نمونه محاسبات ضریب نش در ایستگاه گیلوان در شکل ۸ نشان داده شده است. افزایش ضریب نش در روش معکوس مجذور فاصله تصحیح شده نسبت به ارتفاع، اهمیت انتخاب روش مناسب جهت درون یابی را نشان می دهد.

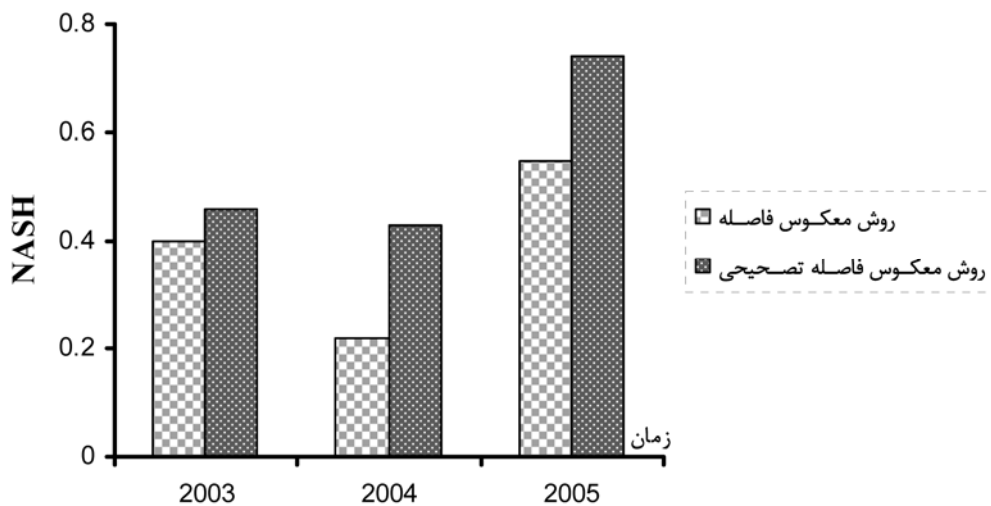
از جمله خروجی های مدل سطح زمین، دمای سطح زمین است. جهت بررسی عملکرد مدل VIC در شبیه سازی دمای سطح زمین مقایسه ای با مقادیر مشاهداتی انجام گرفت. شکل ۹ مقایسه دمای روزانه سطح زمین حاصل از شبیه سازی مدل VIC و دمای سطح زمین مشاهداتی را در دو حالت بیلان انرژی و آبی در سال ۲۰۰۵ نشان می دهد.

داده های هواشناسی مورد نیاز مدل VIC شامل بارش، دمای ماکزیمم و مینیمم، سرعت باد می باشند. جهت تعیین داده های هواشناسی در هر سلول نیاز به درون یابی است. در این تحقیق در ابتدا از روش معکوس مجذور فاصله جهت درون یابی استفاده شد. در روش معکوس مجذور فاصله از فاصله بعنوان عامل وزنی استفاده شده است در حالی که در درون یابی داده های هواشناسی علاوه بر فاصله، ارتفاع نیز می تواند به عنوان عامل مهمی دخیل باشد. بنابراین باید با استفاده از روش هایی، روش معکوس مجذور فاصله نسبت به عامل ارتفاع تصحیح گردد یعنی باید از عامل وزنی دیگری نیز استفاده شود. عامل وزنی در این تحقیق در مورد داده های دمای ماکزیمم و مینیمم با استفاده از مفاهیم گرادیانی (گرادیان درجه حرارت با ارتفاع) و در مورد داده های بارش با استفاده از مفاهیم کاهش اثر ایستگاه های سینوپتیک اطراف نسبت به نقطه موردنظر براساس افزایش اختلاف ارتفاع تعریف شدند. جهت ارزیابی عملکرد روش درون یابی تصحیح شده نسبت به ارتفاع به مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه سازی پرداخته شد. آماره های مورد استفاده در این تحقیق جهت ارزیابی شبیه سازی مدل، در معادلات ۱۷-۱۴ آورده شده است. ارزیابی براساس مینیمم بودن RMSE، RMSEbox-cox و RRMSE و نزدیکی ضریب Nash به یک می باشد.

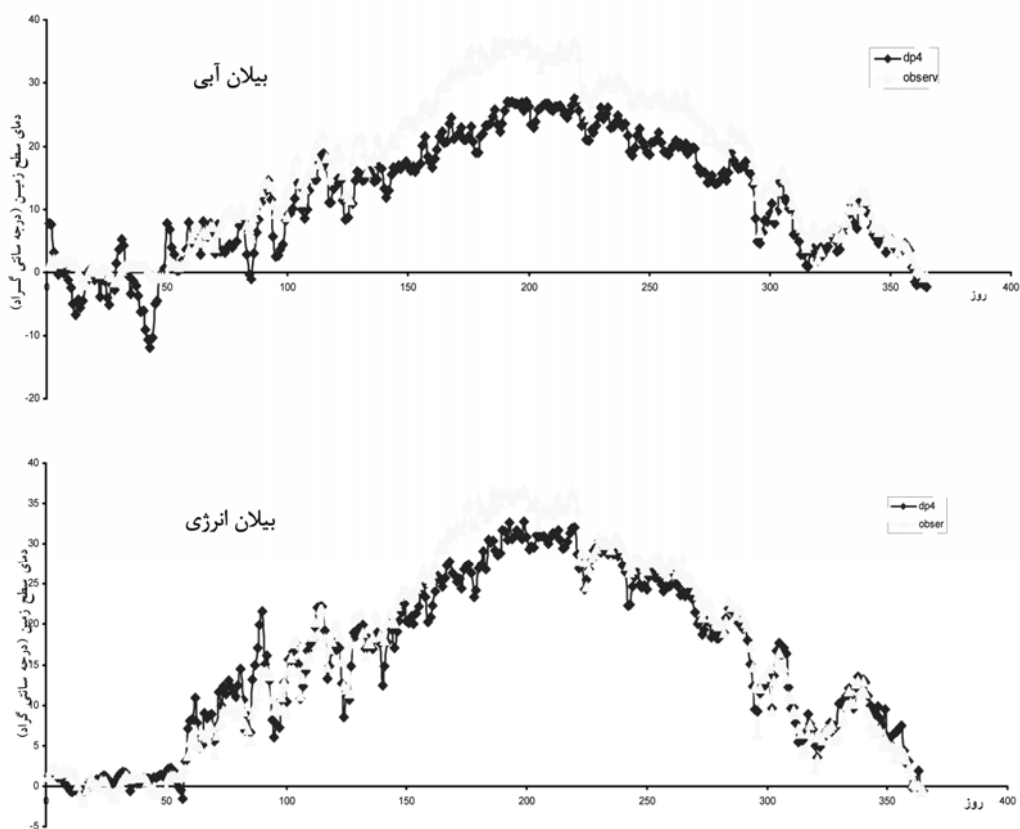
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad (۱۴) \text{ خطای ریشه متوسط مربعات (RMSE}^1\text{)}$$

$$(۱۵) \text{ خطای ریشه متوسط مربعات نسبی (RRMSE}^۲\text{)}$$

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}}{\bar{O}}$$



شکل ۸- ضریب نش برای مقایسه روش های درون یابی



شکل ۹- نمودار دمای سطح زمین مشاهداتی و شبیه سازی توسط مدل VIC

دهد که نتایج مبین بهبود آماره ها در حالت بیان انرژی است.

مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه سازی توسط مدل VIC
 در مدل VIC برخی از پارامترهای فایل خاک از حساسیت بیشتری در شبیه سازی جریان رودخانه برخوردار هستند. نتایج حاصل

همان طور که مشاهده می شود اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده در حالت بیان انرژی نسبت به آبی کمتر می باشد. برای مقایسه بهتر نتایج در دو حالت بیان آبی و انرژی، از آماره هایی مانند $RRMSE$ ، $RMSE$ ، ضریب نش نیز استفاده شد. جدول ۱ مقادیر برخی از آماره ها را در برخی از سلول ها در سال ۲۰۰۳ نشان می

سرانجام مقادیر پارامترهای مدل VIC یعنی پارامتر شکل ظرفیت نفوذ، D_s ، W_s ، D_m با استفاده از واسنجی دستی به ترتیب برابر $۰/۲$ ، $۰/۰۰۱$ ، $۰/۹$ ، ۶ تخمین زده شدند. مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری توسط ضریب نش و RMSE در شکل ۱۲ در سال ۲۰۰۵ نشان داده شده است. بالا بودن ضریب نش، حاکی از توانایی مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مدل سطح زمین VIC، علاوه بر مدلسازی رواناب مازاد اشباع، رواناب مازاد نفوذ را نیز مدلسازی می‌کند. بهبود کارایی مدل VIC با اعمال اثر ارتفاع در روش درون‌یابی حاکی از تاثیر کاربرد روش مناسب درون‌یابی در نتایج مدل می‌باشد. در این تحقیق تصحیحات اثر ارتفاع در درون‌یابی بارش، دمای ماکزیمم و مینیمم در نظر گرفته شد که بهبود کارایی مدل SVAT در اثر کاربرد روش درون‌یابی با اصلاحات اثر ارتفاع از نتایج تحقیق آلچو و همکاران (۹) نیز بوده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل VIC در حوضه سفید رود حاکی از عملکرد قابل قبول مدل در شبیه‌سازی دمای سطح زمین و جریان رودخانه بوده است.

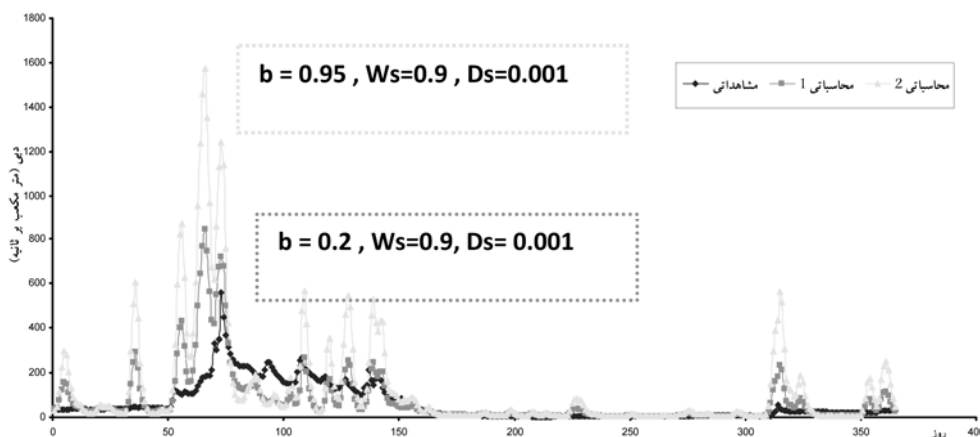
از آنالیز حساسیت مبین این است که در بین پارامترهای معرفی شده در بخش قبل، مدل نسبت به پارامترهای D_s - D_m - W و پارامتر شکل ظرفیت نفوذ در مکانیسم تولید رواناب حساستر می‌باشد. از آماره‌های مورد بررسی، RMSE توانایی مدل را در شبیه‌سازی جریان‌های پیک و RMSEbox-cox توانایی مدل را در شبیه‌سازی جریان پایه نشان می‌دهد. در این تحقیق λ برابر $۰/۳$ در نظر گرفته شد (۱).

شکل ۱۰ نمودار جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سال ۲۰۰۵ در ایستگاه گیلوان را با تغییر پارامتر شکل ظرفیت نفوذ از $۰/۲$ به $۰/۹۵$ نشان می‌دهد. اختلاف نمودار در جریان‌های پیک بیشتر می‌باشد بطوری که در این حالت RMSE، $۱۲۱/۴۲$ درصد و RMSEbox-cox، $۵۵/۳۹$ درصد افزایش یافته است.

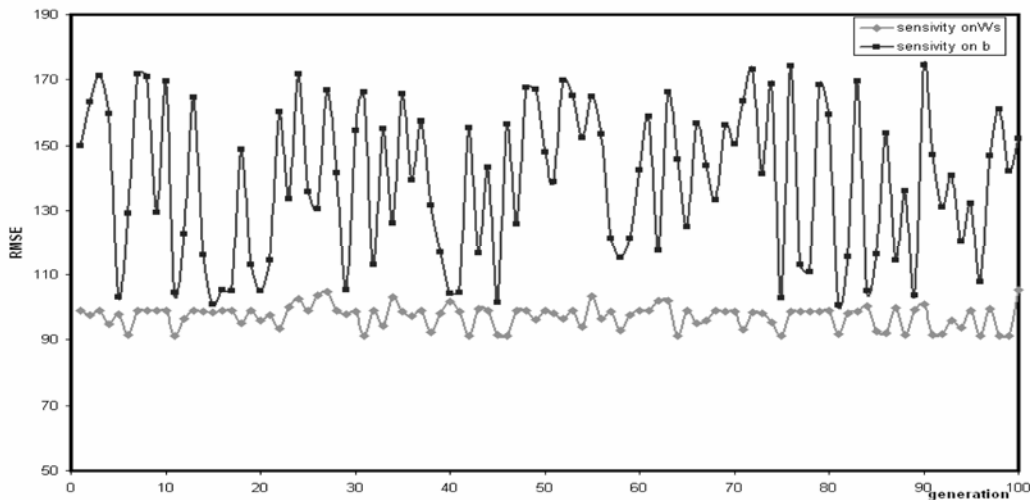
همچنین با تغییر پارامتر W_s از $۰/۹$ به $۰/۱۹$ ، RMSE $۴/۱$ درصد و RMSEbox-cox $۳۲/۲۳$ درصد افزایش و با تغییر D_s از $۰/۰۰۱$ به $۰/۱$ ، RMSE $۵/۸$ درصد و RMSEbox-cox $۶۰/۲$ افزایش یافته است. جهت مقایسه حساسیت مدل نسبت به پارامترهای پارامتر شکل ظرفیت نفوذ W_s ، مقادیر RMSE با ۱۰۰ اجرای مدل VIC با ۱۰۰ عدد تصادفی محاسبه شدند که نمودار شکل ۱۱ مقادیر RMSE را نشان می‌دهند. با توجه به تغییرات زیاد مقادیر RMSE نسبت به پارامتر شکل ظرفیت نفوذ، مدل نسبت به این پارامتر حساس تر است.

جدول ۱ - مقایسه دمای سطح زمین در دو حالت بیان انرژی و آبی

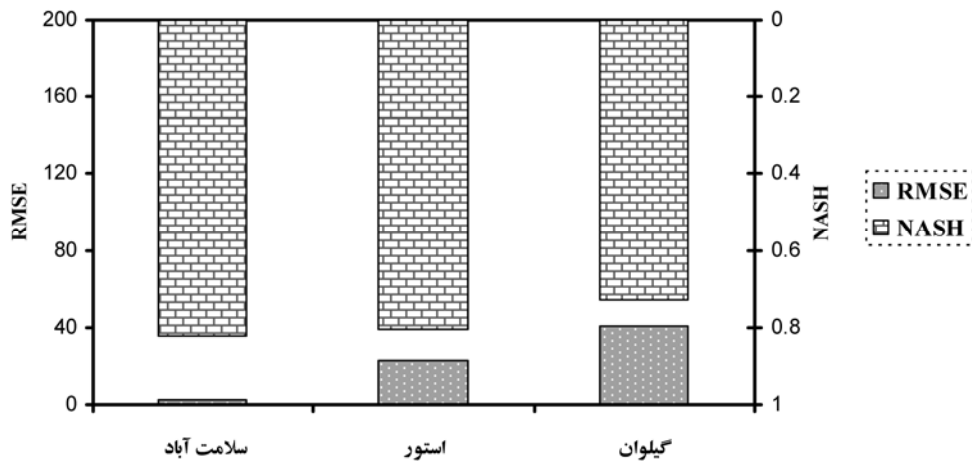
شماره سلول	سلول ۹		سلول ۱۷		سلول ۱۸	
	بیان آبی	بیان انرژی	بیان آبی	بیان انرژی	بیان آبی	بیان انرژی
RMSE	۵/۵۲	۳/۲۷	۶/۱۲	۴/۱۴	۴/۷۵	۲/۹۴
RRMSE	۰/۳۵۷	۰/۲۱	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۳۹	۰/۲۴
Nash	۰/۷۸	۰/۹۲	۰/۷۱	۰/۸۸	۰/۷۸	۰/۹۱



شکل ۱۰ - نمودار جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی با مقادیر مختلف b_i



شکل ۱۱- مقادیر RMSE حاصل از ۱۰۰ اجرای مدل



شکل ۱۲- مقادیر RMSE و نش در برخی از ایستگاه های هیدرومتری

اکسی و یوان (۱۱)، دماریا و همکاران (۱) اثبات شده است. افزایش پارامتر شکل ظرفیت نفوذ باعث می شود که با رطوبت کم قسمت زیادی از سلول اشباع شود بنابراین تاثیر این پارامتر در جریان های پیک بیشتر می باشد. تغییرات کم و زیاد RMSE و COX- RMSEbox، با تغییرات هر دو پارامتر D_s و W_s مبین تاثیر پارامترهای D_s و W_s در مدل سازی جریان زیر سطحی است. بنابراین مقادیر صحیح پارامترها تاثیر بسزایی در شبیه سازی جریان رودخانه دارند بعنوان مثال افزایش D_s باعث می شود جریان پایه با رطوبت کمتر، بیشتر شود که می توانند زمان وقوع جریان را تحت تاثیر خود قرار دهد.

مدل در شبیه سازی دمای سطح زمین در حالت بیلان انرژی نسبت به حالت بیلان رطوبتی از دقت بیشتری برخوردار بود که دلیل آن در استفاده از روند تکراری جهت تعیین دمای سطح زمین در حالت بیلان انرژی می باشد در حالی که در حالت بیلان آبی دمای سطح زمین با دمای هوا برابر گرفته می شود.

مدل در برآورد رواناب نسبت به پارامترهای پارامتر شکل ظرفیت نفوذ، D_s و W_s دارای حساسیت بیشتری است که در این میان پارامتر شکل ظرفیت نفوذ از تاثیر بیشتری در مکانیسم تولید رواناب برخوردار است. اهمیت پارامتر شکل ظرفیت نفوذ در محاسبات جریان رودخانه مدل VIC در بسیاری از تحقیقات از جمله تحقیقات

منابع

- 1- Demaria E.M., Nijssen B., and Wagener T. 2007. Monte Carlo sensitivity analysis of land surface parameters using

- the variable infiltration capacity model. *Journal of Geophysical Research*, 12: 1-15.
- 2- Liang X., Lettenmaier D.P., Wood E.F., and Burges S.J. 1994. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 99 (D7): 415-428.
 - 3- Liang X., Wood E.F., and Lettenmaier D.P. 1996. Surface soil moisture parameterization of the VIC-2L model: evaluation and modification. *Global and Planetary Change*, 13: 195-206.
 - 4- Liang X., Wood E.F., and Lettenmaier D.P. 1999. Modeling ground heat flux in land surface parameterization schemes. *Journal of Geophysical Research*, 104(D8): 9581-9600.
 - 5- Liang X., Zhenghui X. 2001. A new surface runoff parameterization with subgrid scale soil heterogeneity for land surface models. *Advances in Water Resources*, 24: 1173-1193.
 - 6- Liang X., Xie Z. 2003. Important factors in land-atmosphere interactions: surface runoff generation and interactions between surface and groundwater. *Global and Planetary Change*, 38: 101-114.
 - 7- Lobmeyr M., Lohmann D., and Ruhe C. 1999. An application of a large scale conceptual hydrological model over the Elbe region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 3(3): 363-374.
 - 8- Mao D., Cherkauer K.A. 2009. Impacts of land-use change on hydrologic response in the Great Lakes region. *Journal of Hydrology*, 374: 71-82.
 - 9- Olchev A., Ibrom A., Prices J., Erami S., Leemhuis C., Twele A., Radler K., Kreilein H., Panferov O., and Gravenhorst G. 2008. Effects of land use changes on evapo transpiration of tropical rain forest margin area in Central Sulawesi (Indonesia): Modelling study with a regional SVAT model. *Ecological Modeling Journal*, 212: 131-137.
 - 10- Wood E.F., Lettenmaier D.P., and Zartarian V.G. 1992. A land surface hydrology parameterization with subgrid variability of general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 97 (D3): 2717-2728.
 - 11- Xie Z., Yuan F. 2006. A parameter estimation scheme of the land surface model VIC using the MOPEX databases. Large samples basins experimts for hydrological model parameterization: results of the model parameter experiment-MOPEX. *IAHS Publ*, 307: 169-179.
 - 12- Xie Z., Yuan F., Duan Q., Zheng J., Liang M., and Chen F. 2007. Regional parameter estimation of the VIC land surface model: methodology and application of River Basin in China. *Journal of Hydrometeorology*, 447-468.
 - 13- Zhenghui X., Qian L., and Fengge S. 2004. An application of the VIC-3L land surface model with the new surface runoff model in simulating streamflow for the Yellow River basin. *GIS and Remote Sensing in Hydrology. Water Resources and Environmental*, 289: 241-248.

An Assessment of the Integrated Variable Infiltration Capacity and Routing Model in the Sefidrood River Basin

L. Parviz¹ – M. Kholghi² – P. Irannejad³ – Sh. Araghinejad⁴ – Kh. Valizadeh⁵

Received: 19-9-2010

Accepted: 6-3-2011

Abstract

Land surface hydrological models has importance in the determination of soil moisture and temperature, the rate of evapotranspiration, stream flow by emphasis on the land surface physical and dynamic process descriptions. In this research, VIC land surface hydrological model has been used for the land surface temperature and stream flow determination. The VIC runoff simulation in each cell is based on both the infiltration excess and saturation runoff. Also for within-grid and between-grids routing, VIC model was coupled to the routing model. For running VIC model, Sefidrood River basin based on DEM of basin was divided in to 18 cells with 57 km resolution. The comparison of observed and simulated stream flow in the outlet of basin hydrometry station, indicated that Nash coefficient increased by using the inverse distance method that is corrected to the height for using interpolation of meteorological variables in each cell. The land surface temperature estimation in the energy mode of VIC model has accurate results than the water mode. The VIC model in the runoff simulation is more sensitive to the infiltration shape parameter. The infiltration shape parameter is effective in the surface and subsurface runoff simulation but the high influence of this parameter is related to the surface runoff. W_s and D_s play an important role in the subsurface runoff simulation. Comparison between observed and simulated stream flow using calibrated parameters in some of hydrometry stations indicated the ability of model in stream flow simulation.

Keywords: Land surface hydrological model, VIC model, Sefidrood River basin, Infiltration shape parameter

1,2,4-PhD Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation, College of Engineering and Agricultural Technology, University of Tehran, Respectively

(*-Corresponding Author Email: laleh_parviz@yahoo.com)

3- Associate Professor, Geophysics Institute of Tehran University

5- **Lecture**, Department of Geography, College of Humanities and Social Sciences, Tabriz University