شبیه‌سازی رواناب و رسوب با استفاده از مدل WetSpa

مهدی پژوهش[۱]، طیبه طهماسبی[۲] خدایار عبدالهی[۳]

مقاله برگرفته از طرح پژوهشی پایان نامه کارشناسی ارشد

تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۲/۰۵

چکیده

شبیه‌سازی جریان رواناب و رسوب از نقطه نظر درک بهتر مسائل هیدرولوژیکی، پیش‌بینی جریان، مدیریت منابع آب، مهندسی رودخانه، سازه‌های کنترل سیل و ذخیره سیلاب اهمیت بسیار زیادی دارد. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی جریان رواناب و رسوب در حوزه آبخیز بهشت آباد و تعمیم نتایج آن به حوزه‌ی آبخیز آلج و محاسبه رواناب و رسوب این حوزه می‌باشد. در این تحقیق از مدل هیدرولوژیکی توزیعی- مکانی WetSpaاستفاده شده است. در این راستا، از داده‌های روزانه (بارش، دما، تبخیر و تعرق و دبی) دوره‌ی آماری (۱۳۶۲-۱۳۶۷) استفاده گردید. برای اعتبارسنجی مدل از داده‌های دوره آماری (۱۳۸۹-۱۳۹۴) استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تطابق قابل قبولی بین داده‌های شبیه‌سازی شده مدل و مشاهدات رواناب و رسوب وجود دارد. براساس معیار ناش- ساتکلیف، دقت ۵۷/۵۷ درصد در شبیه‌سازی رواناب، کارایی قابل قبول مدل را در این حوزه نشان می‌دهد. هم‌چنین با استفاده هیدروگراف تهیه شده از دبی شبیه‌سازی مدل و مقدار رسوب مشاهداتی معادله‌ای تهیه و مقدار رسوب در ماه برای حوزه‌آبخیز بهشت آباد و سپس حوزه‌آبخیز آلج که زیرحوزه کوچکی از حوزه اصلی است، محاسبه شد. نتایج آنالیز حساسیت مدل نشان داد که پارامترهای ksnow، ki، kg وkss به ترتیب رتبه یک تا چهار حساسیت را دارند و پارامتر krain و Pmax به عنوان پارامترهای غیرحساس در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان شناسایی شدند. در این تحقیق با توجه به حساس بودن پارامترهای ksnow و g0می‌توان به اهمیت پارامتر آب زیرزمینی و نقش کلیدی آن در مدل‌سازی این حوضه پی برد.

واژه‌های کلیدی:حوزه‌آبخیز آلج، حوزه آبخیز بهشت‌آباد، شبیه‌سازی رواناب و رسوب، مدل هیدرولوژیک توزیعی- مکانی، WetSpa

[۱] استادیار، دکترا، هیات علمی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۰۳۸-۳۲۳۲٤٤۲۳، drpajoohesh@gmail.com

[۲] دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۰۳۸-۳۲۳۲٤٤۲۳ tahmasbi.tayabe@gmail.com

[۳] استادیار، دکترا، هیات علمی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۰۳۸-۳۲۳۲٤٤۲۳، kabdolla2010@gmail.com

مقدمه

برای درک عملکرد فرآیندهای فرسایش و رسوب در حوزه های آبخیز، لازمست اطلاعات مربوط به فرآیندهای فرسایش و انتقال رسوب از حوزه‌های آبخیز که الگوی حرکت رسوب در پاسخ به رخدادهای بارندگی را منعکس می‌کنند، در مقیاس‌های زمانی و مکانی تهیه گردند (اکبری مجدر و همکاران،۱۳۹۱). از توانایی‌های مدل‌های شبیه‌سازی درک بهتر عوامل موثر در فرآیندهای هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز و پردازش حجم بالای داده‌ها در مدت زمان کوتاه می‌باشد (Bates and Campbell,2001). مدل WetSpa[1] که یک نوع مدل هیدرولوژیکی و فرسایش خاک است، اولین بار در سازمان مهندسی هیدرولوژیک و هیدرولیک دانشگاه آزاد بروکسل به جهت پیش بینی انتقال آب و انرژی بین خاک، گیاه و اتمسفر توسط Wang etal (1997) ابداع گردید. این مدل در تحقیقات متعددی برای برآورد رواناب و رسوب به کار گرفته شده است.

Wang etal (1997)، مدل توزیعی WetSpaرادرحوزه آبخیزترکلپ- مولنبیک[2]در بلژیک اجرا نمودند و نتایج بیانگر این بودند که مدل به خوبی قابلیت پیشبینی رواناب سطحی را دارد و بااین نتایج نشان دادند ترکیب مدل‌سازی توزیعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی بسیار سودمند می‌باشد. Bahremandetal(2005)اقدام به شبیه‌سازی جریان آبراهه‌ای با استفاده از مدل هیدرولوژیکیWetSpa در حوزه رودخانه هورنادکر اسلوکی نمودند و نتایج بیانگر این بود که درخروجی حوزه و در زیرحوزه‌های اصلی انطباق خوبی بین هیدروگراف حاصل از مدل با هیدروگراف مشاهده‌ای وجود دارد و بر اساس شاخص کارای نش– ساتکلیف مدل هیدروگراف‌های روزانه را با دقت، ۷۵تا۸۵ درصد پیش‌بینی می‌کند. Jaroslawetal (2011)جهت بررسی و آنالیز اثرات توپوگرافی، بافت خاک و کاربری اراضی بر خصوصیات رواناب در بالادست حوزه بایبرز[4] در جنوب شرق از کشور لهستان[5] از مدل هیدرولوژیکی توزیعی WetSpaاستفاده کردند، معیار کارایی بایس و ضریب نش-ساتکلیف برای دوره مرطوب و خشک در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۰۱۵، ۷۱/۷ درصد و در دوره خشک ۰/۱۵۳- ۰/۵۹ درصد بدست آمد. که نشان دهنده قابلیت خوب مدل جهت بررسی اثرکاربری اراضی، توپوگرافی و نوع بافت خاک در این حوزه بوده است. Safari etal (2012)، کاربرد مدل WetSpaرا برای شبیه‌سازی جریان پنج رودخانه از ایالات متحده آمریکا بررسی نمودند که معیار نش- ساتکلیف محاسباتی هر رودخانه نشان دهنده کارایی خوب و بالای مدل در این حوزه بوده است. Tavakolietal (2014)با استفاده از مدل WetSpa به بررسی تغییرات اقلیم و رشد شهری در بلژیک پرداختند. که نتایج نشان‌دهنده‌ی این است که اثر این دو عامل سیلاب را در زمستان و جریان‌های حد پایین را در تابسان افزایش می‌دهد.(2016) Karimietal به مقایسه دو مدل SRM و WetSpaبرای شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف پرداختند که مقایسه معیار نش-ساتکلیف آنها نشان داد مدل WetSpaنتایج رضایت بخش‌تری را ارائه داده است. درایران نیز مطالعاتکبیروهمکاران (۱۳۹۲) کاربردمدلWetSpaرادرحوزه گرگانرودبا مساحت ۶۷۱۷ کیلومترمربع بررسی نمودند که نتایج شبیه‌سازی نشان داد تطابق خوبی بین هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهداتی وجوددارد و با توجه به معیارنش- ساتکلیف مدل هیدروگراف‌های روزانه را با دقت۷۱ تا ۷۷درصد پیش‌بینی کرده است. زینی‌وند (۱۳۹۳) با استفاده از مدل WetSpaبه تحلیل مقادیر مختلف روزانه بر مقدار رواناب در حوزه آبخیز قره‌سو در استان کرمانشاه پرداخت که مقدار نش واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۸۳و۰/۸۴ به دست آمد که

---

[1] Water and Energy Transfer between Soil
[2] Terklep_Molenbik
[3] Hornad
[4] Bibrza
[5] Poland

نشان دهنده‌ی توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک است. مرادی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل WetSpaبه شبیه‌سازی واناب در حوزه‌آبخیز طالقان پرداختند که معیار نش- ساتکلیف ۸۳/۳ درصد در شبیه‌سازی‌ها کارایی بالای مدل را نشان می‌دهد.باتوجه به این نتیجه می‌توان بیان نمود مدل برآورد نسبتاً خوبی از دبی اوج و حجم جریان داشته و به خوبی توانسته بیلان آب حوزه آبخیز را شبیه‌سازی نماید. آذین‌مهر و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به بررسی آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل WetSpaدر شبیه‌سازی هیدروگراف جریان با استفاده از PESTپرداختند که نتایج با نش ساتکلیف ۶۶ درصد بیانگر کارا بودن مدل بود. الماسی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر رواناب سطحی در حوزه آبخیز بازفت پرداختند. که نتایج مدل با معیارنش- ساتکلیف ۰/۶ نشان‌دهنده‌ی کارایی مدل برای شبیه‌سازی رواناب می‌باشد.

ازبین مطالعاتی که درزمینه شبیه‌سازی رواناب و رسوب هچنین برمی‌آید که استفاده ازمدل‌ها ضرورتی اجتناب ناپذیر می‌باشد. هدف این پژوهش برآورد رواناب سطحی و رسوب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی- مکانی WetSpaو ارزیابی و واسنجی این مدل در یکی از زیرحوزه‌های حوزه‌ی بهشت آباد است که این زیرحوزه آلج نام دارد و به علت اینکه زیرحوزه‌ی آلج فاقد ایستگاه هیدرومتری این مدل برای منطقه‌ای با مساحت بزرگتر (بهشت‌آباد) انجام و نتایج به این زیرحوزه تعمیم یافت.

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد مطالعه:

محدوده‌ی مورد مطالعه حوزه آبخیز آلج با مساحت حدود ۲۷۸ هکتار، در کنار سد خاکی آلج، شرق شهرستان جونقان استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه با ارتفاع متوسط ۲۱۴۰ متر ازسطح دریا بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه، ۴۳ دقیقه، ۱۴ثانیه و ۵۰ درجه، ۴۵ دقیقه و ۴۷ثانیه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه، ۷ دقیقه، ۴۳ ثانیه و ۳۲ درجه، ۹ دقیقه و ۱ ثانیه شمالی قرار گرفته است. (امامی، ۲۰۰۷). متوسط درجه حرارت سالانه۸/۱۱ درجه سانتی گراد، تبخیر پتانسیل دیده بانی شده به روش تبخیر از تشت بطور سالانه ۱۹۶۹/۵میلی‌متر و نزولات جوی سالانه ۴۷۵/۵۲ میلی‌متر می‌باشد و جزو مناطق نیمه‌خشک قرار می‌گیرد (اداره‌ی کل هواشناسی استان چهار محال و بختیاری، ۲۰۱۰. بای بوردی، ۱۹۸۷). مدل WetSpaدر هرشبکه سلولی با استفاده از مجموعه‌ای از روابط فیزیکی و تجربی و باتوجه به میزان بارندگی دما و تبخیر و تعرق، کلیه فرآیندهای هیدرولوژیک و پیش‌بینی سیل ازجمله مقدار میانیابی شده بارش، ذخیره برگابی گیاهان، ذخیره چالابی، نفوذ رواناب سطحی، نفودعمقی، جریان زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و بیلان آب در ناحیه‌های ریشه و اشباع را شبیه‌سازی نماید. هم‌چنین دبی‌های پیک و هیدروگراف جریان در هر مکان از شبکه آبراهه را پیش‌بینی و توزیع مکانی فرآیندهای هیدرولوژیک را شبیه‌سازی می‌کند (Liu etal,2004). در مدل WetSpa، رواناب سطحی با معادله (۱) محاسبه می‌گردد:

$$V = C(P - I)\left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{\alpha} \quad (1)$$

که در آنC: ضریب پتانسیل رواناب، θ (L^3L^{-3}) محتوای رطوبتی خاک می‌باشد،θ_s(L^3L^{-3}): تخلخل خاک و ضریبی است که نشان‌گر تاثیر شدت بارندگی بر میزان باراش مازاد می‌باشد.

ضریب پتانسیل رواناب باتوجه به جدول Lookup tableتعیین می‌شود که این جداول براساس نقشه‌های شیب، کاربری و بافت خاک تهیه می‌گردند (ناصرآبادی و اسمعلی،۱۳۹۱).

در انتها برای محاسبه دبی جریان از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$Q_i(t) = \sum_{\tau=0}^{t-\tau} V_i(\tau)U_i(t-\tau)$$

که در آن:$Q_i(t)$ دبی خروجی در انتهای مسیر جریان با ورودی دلخواه در سلول i(مترمکعب بر ثانیه) $U_i(t-\tau)$:تابع پاسخ مسیر جریان (عکس ثانیه) معادل هیدروگراف واحد لحظه‌ای و τ زمان تأخیر (ثانیه) و $V_i(\tau)$:حجم رواناب ورودی (مترمکعب) در سلول i در زمان تأخیر، شامل رواناب سطحی، جریان زیرسطحی و رواناب آب‌های زیرزمینی (در صورتی که سلول i در خروجی زیرحوزه واقع شده باشد) می‌باشد. پاسخ جریان حوزه با در نظر گرفتن قابلیت تفکیک مکانی در روش روندیابی خطی، حاصل مجموع پاسخ تمام سلول‌ها می‌باشد. بنابراین پاسخ جریان در کل حوزه را می‌توان به وسیله‌ی معادله ۳ محاسبه نمود:

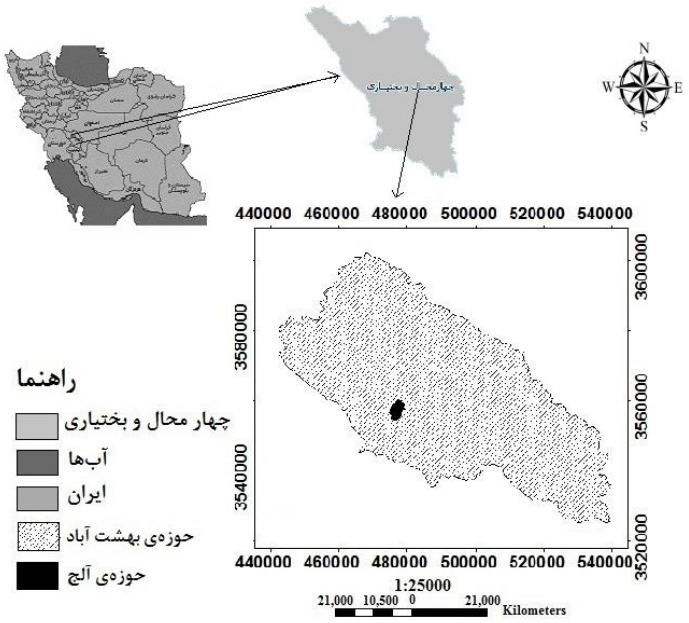
$$Q(t) = \sum_{i=1}^{N_w} Q_i(t) \quad (3)$$

که در آن:Q(t): دبی کل در خروجی حوزه (مترمکعب در ثانیه)

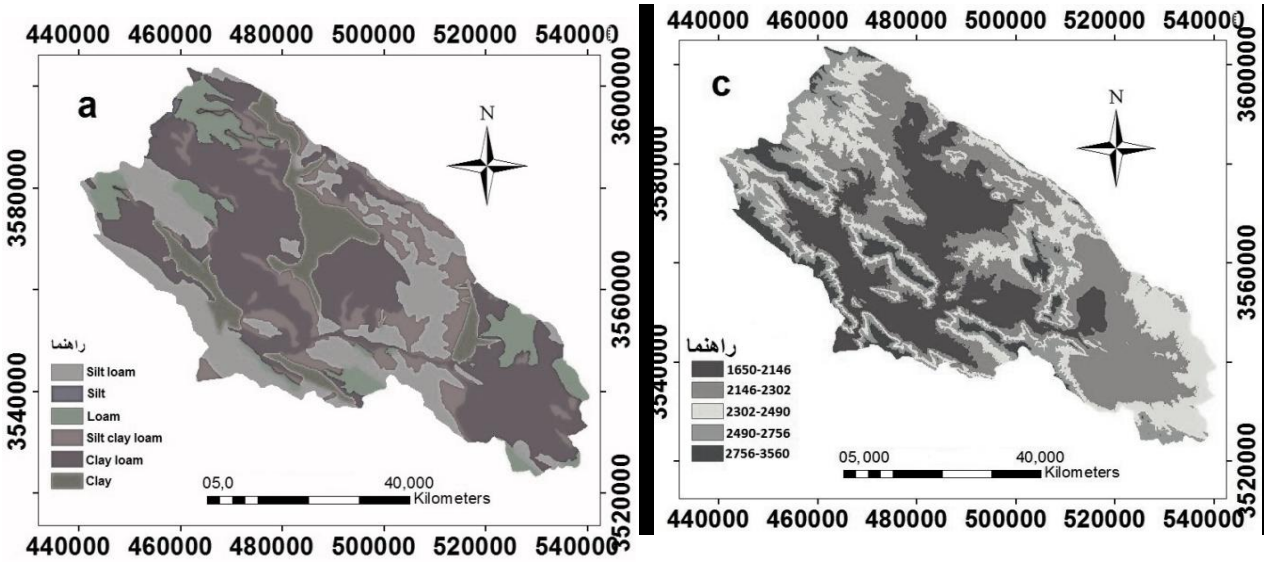
N_w: تعداد کل سلول‌های حوزه می‌باشد (Liu etal,2004).

بحث و نتایج

ابتدا در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع و بافت خاک به عنوان واحدهای کاری در قالب رستر با اندازه‌ی سلولی۱۰۰متر برای حوزه آبخیز بهشت آباد و اندازه سلولی ۶۰ متر برای حوزه آبخیز آلج استخراج شد زیرا که منطقه‌ی آلج دارای مساحت بسیار کوچکی بوده و جهت دقیق‌تر بودن محاسبات اندازه‌ی سلولی تغییر داده شده است همچنین از نرم افزار آرک ویو برای ساخت تعداد دیگری از نقشه‌های ورودی استفاده گردید. جهت میان‌یابی از روش تیسن در محیط سیستم اطلاعاتجغرافیایی استفاده شد. آمار و اطلاعات بارش، تبخیر، دما و دبی از اداره آب منطقه‌ای شهر شهرکرد در ایستگاه‌های هواشناسی آب منطقه‌ای اردل، فارسان و شهرکرد، تهیه شد که شامل داده‌های روزانه دوره آماری ۱۲ ساله که دوره ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۸ بارش، دما، تبخیر و تعرق و دبی، مربوط به دوره واسنجی و دوره ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ بارش، دما، تبخیر و تعرق و دبی، مربوط به دوره اعتبارسنجی می‌باشد. به علت نبودن ایستگاه هیدرومتری در حوزه‌آبخیز آلج ابتدا مدل برای حوزه‌آبخیز بهشت آباد اجرا و سپس در محیط اکسل (EXCEL) با اعمال رگرسیون بین دبی شبیه‌سازی و دبی مشاهداتی و ارائه معادله‌ای به محاسبه رواناب و رسوب حوزه‌آبخیز بهشت آباد و سپس حوزه‌ی آلج پرداخته شد، چرا که این منطقه حوزه‌ی کوچکی از منطقه بهشت آباد و یکی از زیرحوزه‌های آن محسوب می‌شود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



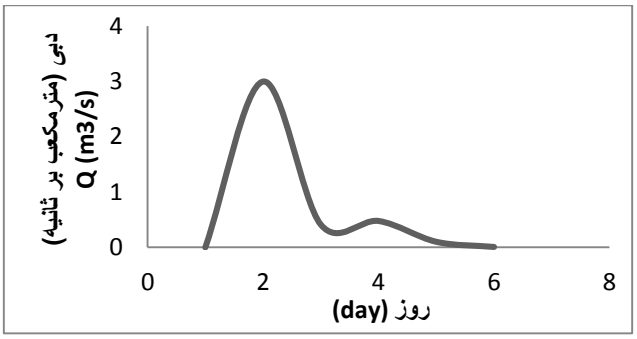
شکل۲: نقشه بافت خاک (a)، نقشه کاربری اراضی (b)، نقشه مدل رقومی ارتفاع (c)، مربوط به حوضه بهشت‌آباد

جدول۱: اطلاعات مربوط به نوع کاربری و بافت حوزه ببهشت آباد

نوع کاربری		مساحت(km2)	نوع خاک		مساحت(km2)
جنگل مخلوط	Mixed Forest	۶۹/۶	سیلت و شن	Silt Loam	۸۹۳/۶
بوته‌زار	Open Shrubland	۱۷۹/۱۱	سیلت	Silt	۸/۷۱
دشت‌های چوبی	Woody Savannah	۸/۷۸	شن	Loam	۳۶۳/۵۴
گندم‌زار	Croplands	۹۰۹/۰۷	سیلت و رس و شن	Silt Clay Loam	۵۶۱/۳۴
شهر و مناطق مسکونی	Urban and Built-Up	۱۲۲/۱۳	شن و رس	Clay Loam	۱۵۶۹/۰۹
پوشش گیاه طبیعی	Natural Vegitation	۱۳۳۵/۶۵	رس	Clay	۳۹۲/۵۵
اراضی بی‌ثمر با پوشش کم	Barren or Sparsely	۱۱۸۲/۲۱	وسعت آب	Water Bodies	۰/۱۹

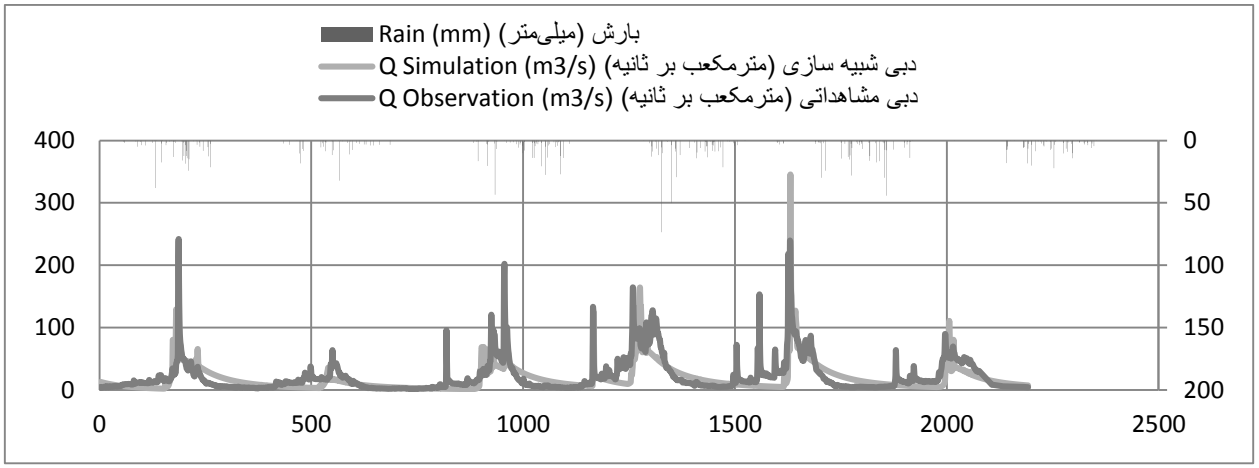
خروجی‌های مدل محاسبه رسوب گراف واحد

با اجرای برنامه IUH، هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH) برای کل حوزه (Uh_watershed.txt) و درواقع توابع پاسخ واحد در هر زیرحوزه تا رودخانه اصلی و خروجی حوزه برای رودخانه‌های اصلی و برای کل حوزه آبخیز برای تحلیل کلیه پارامترها محاسبه گردید و خروجی آن در شکل (۳) مشاهده شد.که میزان دبی در یک روز می‌باشد، به طوری که یک روز بعد از بارش افزایش دبی و رسیدن به دبی پیک و دو روز بعد از آن کاهش دبی مشاهده می‌شود.



شکل(۳): هیدروگراف واحد لحظه‌ای برای کل حوزه

همچنین در شکل۴، مقایسه هیدروگراف روزانه شبیه‌سازی و مشاهداتی نشان می‌دهد که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بین دبی شبیه‌سازی و مشاهداتی تطابق کمی وجود دارد اما در ماه‌های سرد سال شامل دی‌ماه تطابق خوبی بین میزان بارش و دبی شبیه‌سازی و مشاهداتی وجود دارد.



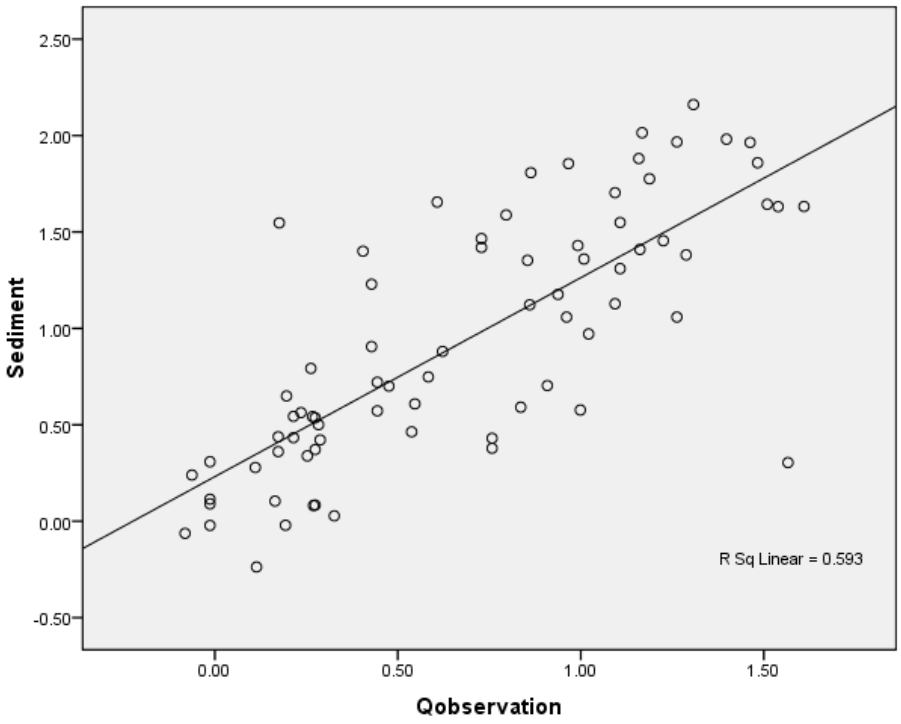
شکل(۴): مقایسه هیدروگراف روزانه شبیه‌سازی و مشاهداتی حوزه‌آبخیز بهشت آباد

روند استخراج پارامترهای توزیعی مختلف از نقشه‌های ورودی مدل و ضریب رواناب و ظرفیت ذخیره چالابی که حاصل تلفیق اطلاعات نقشه‌های ورودی است. مدل با استفاده از نقشه‌های توزیعی- مکانی پارامترهای هیدرولوژیک و سری‌های زمانی دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۹ اجرا شد. جهت واسنجی مدل از دو روش آزمون و خطا و خودکار با کاربرد PEST(ParameterESTimator) به عنوان ابزار بهینه سازی و تخمین پارامترهای مدل استفاده شد. در روش دستی با تغییر یک پارامتر و ثابت نگه داشتن سایر پارامترها، نتایج و روند به خوبی قابل مشاهده و قابل کنترل می‌باشد. در مدل WetSpa، به منظور ارزیابی کیفیت بازسازی هیدروگراف مشاهداتی علاوه بر مقایسه‌های گرافیکی، از معیارهای آماری مختلف نظیر اریب مدل، قابلیت اعتماد مدل، ضریب کارایی نش- ساتکلیف، ضریب همبستگی و غیره استفاده می‌شود. معیارهای اشاره شده امکان برآوردهای کمی و نکویی برازش بین مقادیر مشاهداتی و پیش بینی را فراهم آورده و براساس نتایج این شاخص‌ها، قابلیت پیش بینی مدل بررسی می‌شود.

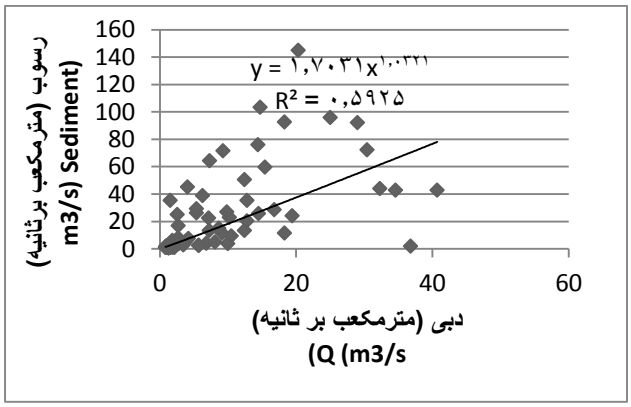
پس از جمع‌آوری اطلاعات پایه حوزه و تهیه آمار و اطلاعات بارندگی، تبخیر و تعرق، دما و دبی لحظه‌ای، مدل WetSpaبه منظور شبیه‌سازی رواناب در منطقه اجرا گردید. برای تعیین عدم قطعیت پارامترهای مختلف مدل بارش- رواناب، ابتدا محدوده وسیعی از تغییرات پارامترها حول مقادیر پارامترهای به دست آمده از واسنجی اولیه تعریف شد. سپس با استفاده از توزیع یکنواخت سری پارامترهای تصادفی تولید شد و مدل شبیه‌سازی بارش- رواناب با گام زمانی مربوطه به ازای هر یک از آن‌ها اجرا شد.

محاسبه رواناب و رسوب

برای محاسبه مقدار رواناب و رسوب حوزه آلج، محاسبات در نرم افزار Spss16.0 انجام شد. رگرسیون خطی محاسبات ارائه گردید که نشان دهنده‌ی معنی داری همبستگی در سطح ۵ درصد است.همچنین با استفاده از فایل خروجی مدل (Qtot) و دبی شبیه‌سازی (total flow) در EXCELو اعداد روزانه رسوب مشاهداتی، نموداری تهیه گردید و با استفاده از معادله‌ی بدست آمده در شکل۶ مقدار رسوب معلق محاسبه شد.



شکل(۵): نمودار حاصل از دبی شبیه‌سازی و رسوب مشاهداتی



شکل(۶): نمودار حاصل از دبی شبیه‌سازی و رسوب مشاهداتی

سپس با توجه به اینکه بارکف در اکثر مواقع ۱۰تا۲۰ درصد بار رسوب است و برای سهولت در محاسبات توسط کارشناسان ارائه گردیده است و پژوهش‌هایی در این زمینه صورت گرفته است که شامل:Kalvandietal(2010)و عرب خدری (۱۳۷۹) این مقدار را بین ۱۰ تا ۲۰ درصد در نظر گرفتند،Babinski(2005)درصد بارکف از بار رسوب را در حوزه‌های بزرگ کم و نزدیک به هفت ارزیابی نمودند. Vali-Khodjeini&Mohamed (1976)، با ضریب تله اندازه‌ی این نسبت را در سد سفیدرود ۱۲ درصد محاسبه نمودند. بنابراین، محاسبه ۲۰ درصد رسوب معلق بارکف با این روش انجام و با جمع این دو

عدد مقدار رسوب کل حوزه که این مقدار برای حوزه بهشت آباد ۶/۵تن در هکتار در سال بود، محاسبه شد و سپس برای محاسبه مقدار رواناب از مقادیر ستون دبی شبیه‌سازی به صورت سالیانه میانگین‌گیری گردید که مقدار رواناب برای حوزه بهشت آباد ۱۷/۶۷ مترمکعب بر ثانیه در سال سپس برای محاسبه رسوب حوزه آلج با استفاده از معادله (۴) که درواقع رابطه‌ی منحنی سنجه رسوب (فائو،۱۹۹۴؛ هاریسون،۲۰۰۰) با کالیبره پارامترها در حوزه‌ی مورد مطالعه است، مقدار رسوب معلق و بارکف محاسبه شد.

$$Qs=5.9Q1.354$$

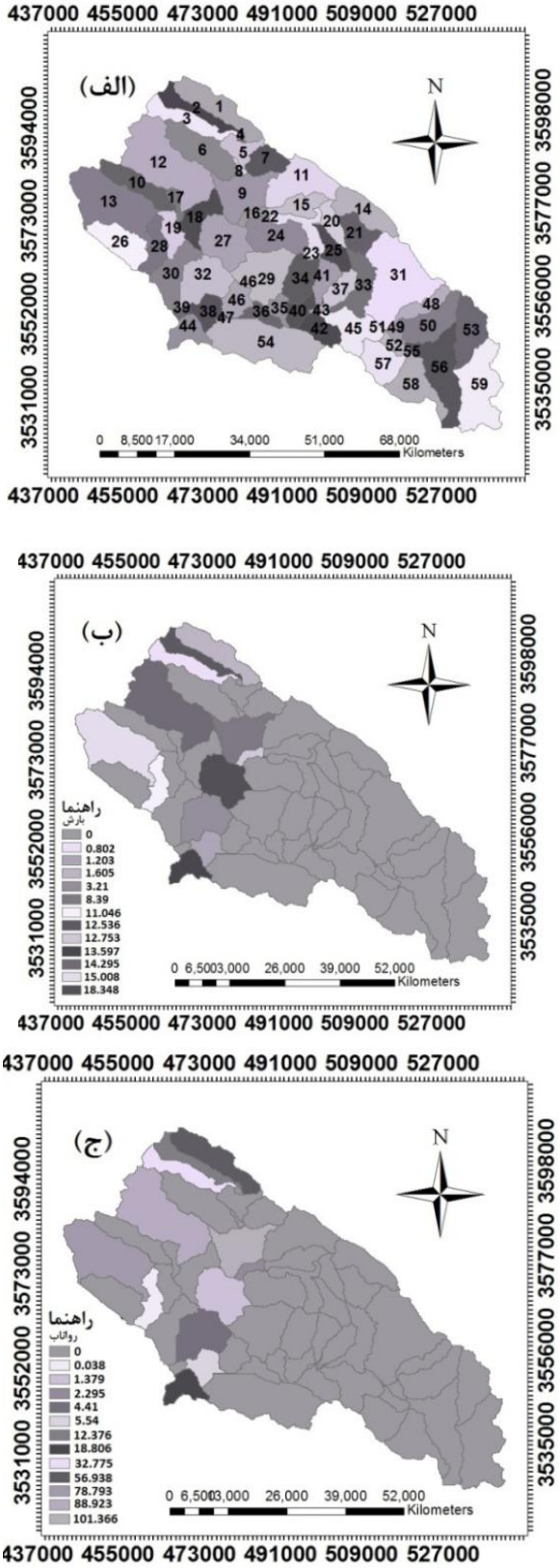
جمع این اعداد مقدار رسوب کل که این مقدار برای حوزه آلج ۳/۲ متر مکعب در هکتار در سال بود، محاسبه شد. هم‌چنین مقدار رواناب محاسباتی ۰/۰۸ مترمکعب بر ثانیه در سال برآورد گردید.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

رویکردهای واسنجی و اعتبارسنجی مدل، پس از تهیه و پردازش داده‌های ورودی و پارامترهای مدل و اجرای مدل جهت پیش‌بینی‌های موردنظر صورت گرفت.

با کالیبره مدل و با توجه به معیار نش- ساتکلیف، کارایی مدل ۵۷/۵۷ درصد برآورد شد. در جدول ۲ نتایج کارایی مدل براساس معیارهای آماری ارزیابی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی آمده است.

برای ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی توزیعی مکانی- زمانی روناب و استخراج نقشه‌های توزیعی بارش و رواناب سطحی، بارش تاریخ ۱۳۶۲/۱۲/۲۴با بارش (۱۵ میلیمتر) و رواناب چشمگیر ایجاد شده در دو روز بعد از آن در طول دوره شبیه‌سازی در ۵۹ زیرحوزه انتخاب شد (شکل۷).

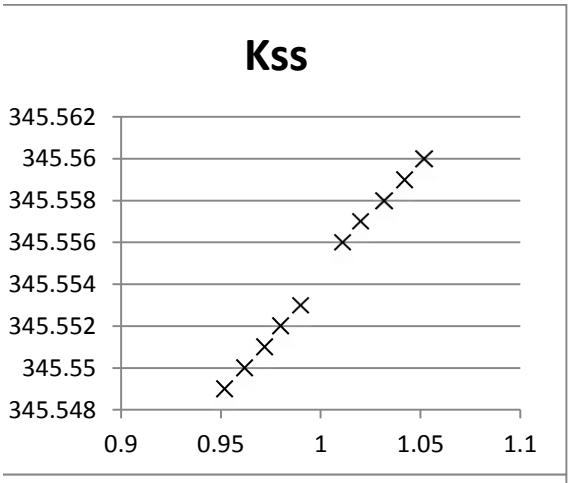


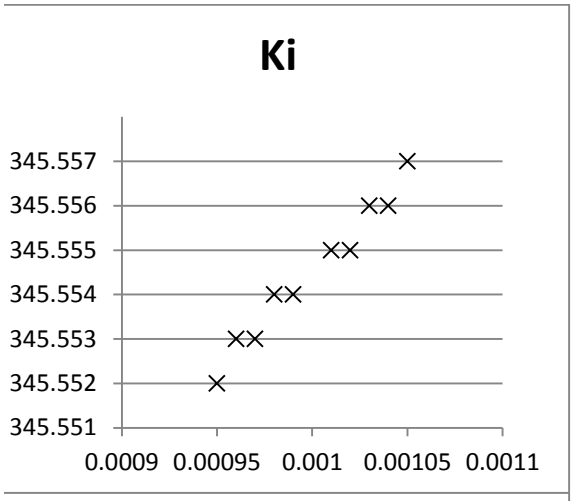
شکل(۷): نقشه زیرحوزه(الف) و نقشه توزیعی مکانی بارش (ب) و رواناب سطحی (ج) حوزه آبخیز بهشت‌آباد

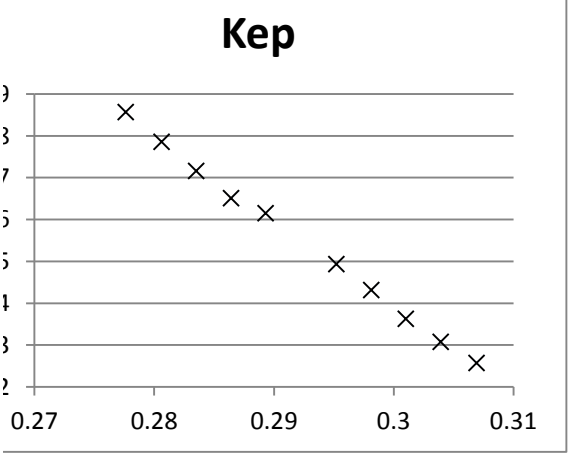
جدول(۲): مقادیر معیارهای ارزیابی مدل WetSpa

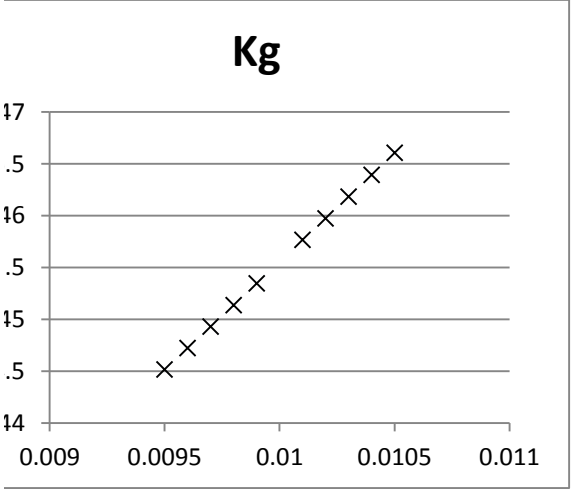
معیار ارزیابی Assessment Criteria	واحد Unit	واسنجی Calibration	اعتبارسنجی Validation
اریبی مدلBias	درصد(٪)	-۱۱/۴۷	-۹/۳۴
مجذور میانگین مربعات خطاRMSE	درصد(٪)	۸۰/۱۵	۱۱۱/۰۴
نش- ساتکلیفNS	درصد(٪)	۵۷/۵۷	۶۱/۸۲
نش- ساتکلیف جریان‌های کمNSL	درصد(٪)	۳۵/۸۵	۲۴/۸۰
نش- ساتکلیف جریان‌های زیادNSH	درصد(٪)	۶۵/۲۹	۹/۵۵
ضریب همبستگی اصلاح شدهRmod	درصد(٪)	۶۶/۹۸	۱۴/۱۷
معیار تجمعی	درصد(٪)	۵۷/۱۰	۲۵/۶۸

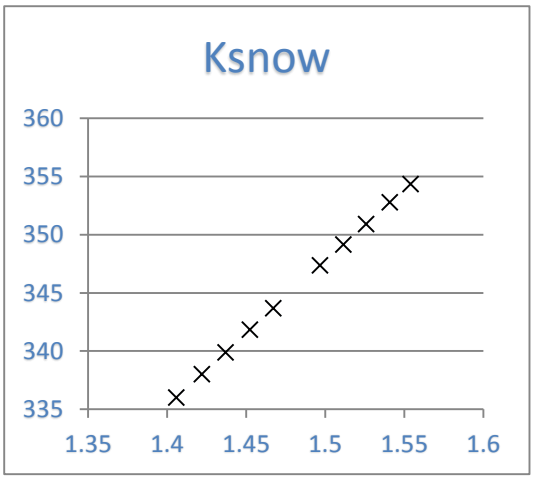
با توجه به شکل ۷، بارش دو روز قبل(۱۵/۰۰۸ میلی‌متر) در اشباع خاک این سطح مؤثر بوده است و منجر به افزایش رطوبت خاک و افزایش دبی جریان شده است. در این روز بیشترین رطوبت خاک و رواناب سطحی شبیه‌سازی شده مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج و دقت شبیه‌سازی‌ها، مدل با دقت نسبتاً قابل قبولی جریان رواناب را در زمان و مکان پیش‌بینی کرده است.تهیه نقشه‌های مکانی رواناب نقش مهمی در بررسی تغییرات موضعی رواناب دارد. وجود این نقشه‌ها به مدیران در اولویت بندی زیرحوزه‌ها برای شروععملیات مدیریتی کمک می‌نماید. در واقع با این نقشه‌ها می‌توان برای کارهای اصلای اولویت‌بندی کرده و بر روی زیرحوزه‌های با رواناب بیشتر متمرکز شد. با توجه به کارایی مدل و ناش-ساتکلیف نزدیک به ۰/۶ در این حوزه و لزوم مدیریت رواناب در حوزه‌های بزرگ و کوچک استفاده از این دسته مدل‌ها راه کار مناسبی به نظر رسیده و بر این اساس اجرای این مدل تشخیص مناطق سیل‌خیز را جهت برنامه‌ریزی حفاظت آب و خاک امکان‌پذیر می‌سازد.

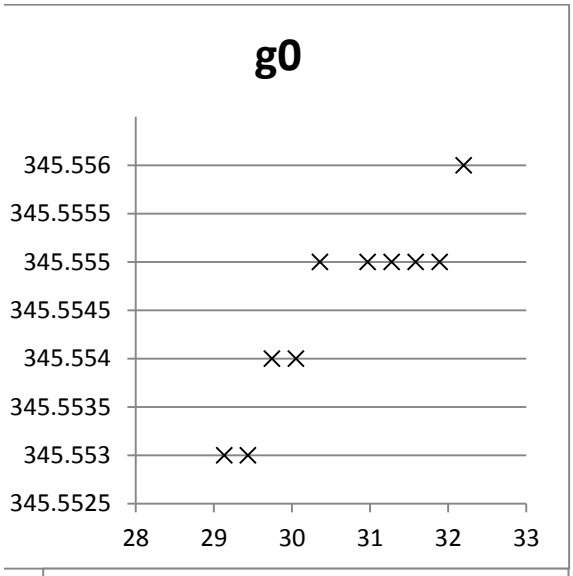

Kss
345.562
345.56
345.558
345.556
345.554
345.552
345.55
345.548
0.9
0.95
1
1.05
1.1

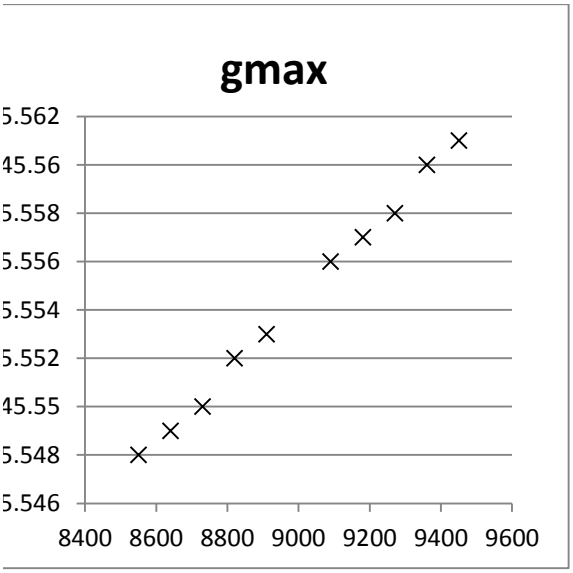

Ki
345.557
345.556
345.555
345.554
345.553
345.552
345.551
0.0009
0.00095
0.001
0.00105
0.0011

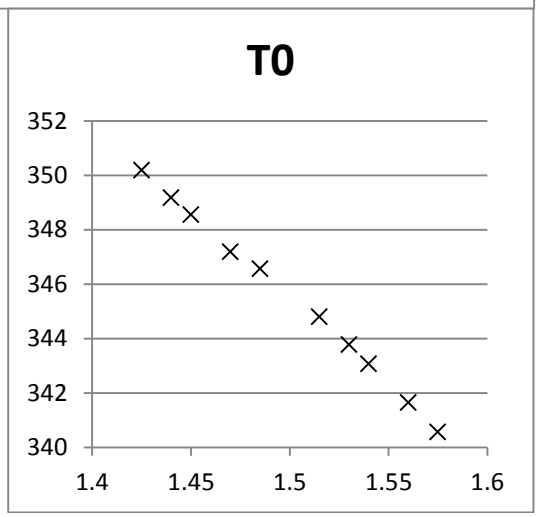

Kep
0.27
0.28
0.29
0.3
0.31

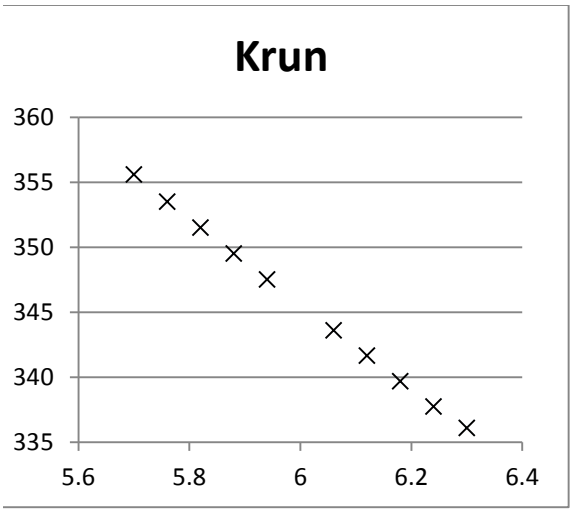

Kg
0.009
0.0095
0.01
0.0105
0.011

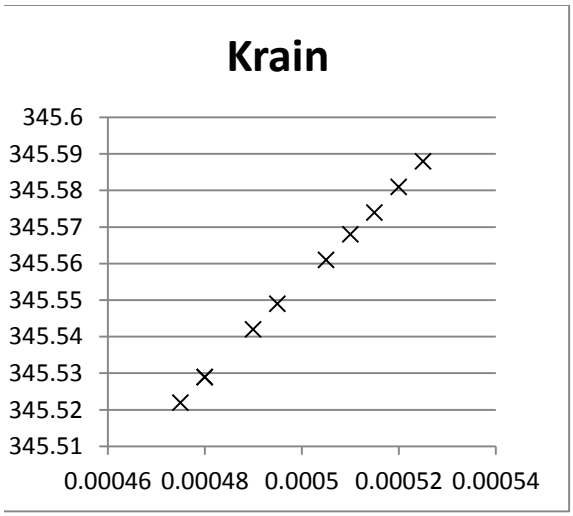

Ksnow
360
355
350
345
340
335
1.35
1.4
1.45
1.5
1.55
1.6

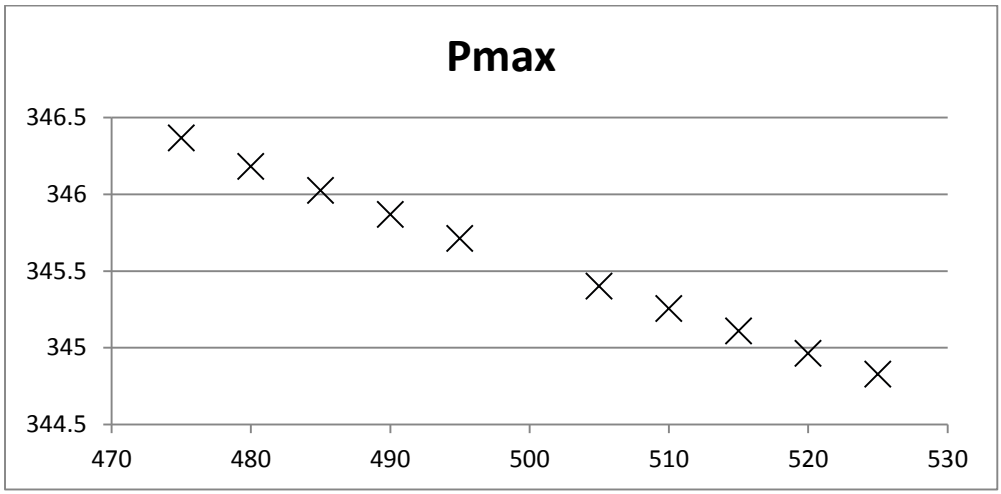

g0
345.556
345.5555
345.555
345.5545
345.554
345.5535
345.553
345.5525
28
29
30
31
32
33


gmax
5.562
45.56
5.558
5.556
5.554
5.552
45.55
5.548
5.546
8400
8600
8800
9000
9200
9400
9600


T0
352
350
348
346
344
342
340
1.4
1.45
1.5
1.55
1.6


Krun
360
355
350
345
340
335
5.6
5.8
6
6.2
6.4


Krain
345.6
345.59
345.58
345.57
345.56
345.55
345.54
345.53
345.52
345.51
0.00046
0.00048
0.0005
0.00052
0.00054



شکل(۸) نمودارهای تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

نتیجه‌گیری

در این تحقیق که مدل هیدولوژیکی توزیعی – مکانی WetSpaاجرا گردید، در آن نشان داده شد که می‌توان از بیلان آب به مواد محلول رسید و در شبیه‌سازی رسوب حوزه به کار برد. نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف خروجی حوزه بهشت‌آباد قابل قبول ارزیابی شد و پراکندگی ایستگاه‌ها و تغییرات شدید در مقدار بارندگی ثبت شده در آن‌ها می‌تواند مسبب برخی از عدم تطابق مقادیر شبیه‌سازی شده باشد. به طور کلی مدل درمواردی که شاخه‌ی افتادگی هیدروگراف شیب تندی نداشته باشد همبستگی ضعیفی نشان می‌دهد که این می‌تواند به ضعف عمومی مدل در شبیه‌سازی آب پایه اشاره داشته باشد و در در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بین دبی شبیه‌سازی و مشاهداتی تطابق کمی وجود دارد اما در ماه‌های سرد سال شامل دی‌ماه تطابق خوبی بین میزان بارش و دبی شبیه‌سازی و مشاهداتی وجود دارد. هم‌چنین نتایج مدل در شبیه‌سازی جریان و هیدروگراف خروجی با نتایج و قابلیت مدل در تحقیقاتی در خارج از کشور هم‌چون Bahremandetal ، De Smedtetal (2000) (2006)، Liu etal (2006)و زینی‌وند و همکاران (۲۰۰۹) و در داخل کشور با نتایج تحقیق کبیر و همکاران (۱۳۹۲) به طور نسبی مطابقت دارد. با توجه به اینکه ۸ نوع کاربری در این حوزه وجود داشته و بیشتر مناطق شامل کاربری‌هایی مانند مناطق مسکونی و مناطق لم یزرع هست، همچنین با توجه به بافت خاک این منطقه که وسعت زیادی را نوع رس تشکیل می‌دهد، نشان‌دهنده‌ی افزایش میزان رواناب و به تبعه‌ی آن رسوب است و برآورد آن به وسیله‌ی مدل‌های هیدرولوژیکی جزو ضروریات اقدامات حفاظتی است. حدود اطمینان برای ۱۱ پارامتر کلی مدل محاسبه شد و نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که پارامترهای ksnow(ضریب دما درجه-روز)، ki(فاکتور مقیاس جریان زیرسطحی)، kg(ضریب افت آب‌های زیرزمینی) و kss(مقدار رطوبت نسبی اولیه) به ترتیب رتبه یک تا چهار حساسیت را دارند و پارامتر krain(ضریب باران درجه-روز) و Pmax(شدت بارندگی متناظر با توان رواناب سطحی) به عنوان پارامتر غیرحساس در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان شناسایی شدند. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت در اجرای مدل WetSpaمی‌توان در پژوهش‌های بعدی در این حوزه و یا در حوزه‌های با شرایط فیزیوگرافی وهیدرولوژیکی مشابه با این حوزه پارامترهای کمتر، در زمان کمتر و با دقت بیشتر اجرا شود. پارامترهای با

درجه حساسیت بالا پارامتر حساس شناسایی شده و ضروری است که محققین در انتخاب مقادیر این نوع پارامترها در اجرای مدل برای کاهش خطا، دقت کافی را داشته باشند تا درنهایت نتایجی با کم‌ترین میزان خطا حاصل شود. در این تحقیق حساس ترین پارامترها شامل ksnow(ضریب دما درجه-روز) و g0(ذخیره فعال آب زیرزمینی) شناسایی شدند. به طورکلی می‌توان گفت باتوجه به اینکه مدل قابلیت شبیه‌سازی رواناب در تمام سطح حوزه را دارد، می‌توان با اعمال رگرسیون بین دبی شبیه‌سازی و مشاهداتی و برآورد معادله‌ی درجه یک به محاسبه رواناب و رسوب زیرحوزه‌های کوچک که فاقد ایستگاه هیدرومتری هستند، پرداخت و این امکان را برای مدیران و مسئولین فراهم می‌نماید که قبل از اجرای هرگونه عملیات، مناطق مختلف را به صورت دقیق و در زیرحوزه‌های مختلف از نظر پتانسیل ایجاد رواناب و رسوب شناسایی نمایند. از آنجاییکه مدل قادر به شبیه‌سازی بسیار خوب مقادیر پیک جریان است، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده مدل درگام زمانی ساعتی و در با در نظر گرفتن آب پایه به عنوان یک فاکتور مؤثر به کاربرده شود تا توانایی مدل بهتر و دقیق‌تر مورد بررسی قرارگیرد.

منابع

آذین مهر، مریم.، بهره‌مند، ع.، کبیر، آ. ۱۳۹۵. آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل WetSpa در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان با استفاده از PEST در حوزه‌آبخیز دینور کرخه، پژوهشنامه مدیریت حوزه‌آبخیز، سال هفتم، شماره۱۳، بهار و تابستان۱۳۹۵، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

اکبری مجدر، ح.، بهره‌مند، ع. ۱۳۹۱. معرفی روش‌های شبیه‌سازی فرسایش و رسوب در مدل‌های SWAT و WetSpa، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه صنعتی اصفهان.

الماسی، پ.، سلطانی، س.، گودرزی، م.، مدرس، ر. ۱۳۹۵. بررسی اثراتتغییر اقلیم بر رواناب سطحی در حوزه آبخیز بازفت، نشریه علوم آب و خاک، سال بیستم، شماره۷۸.ص۵۲-۳۹.

زینی‌وند، ح. ۱۳۹۳. تحلیل تأثیر مقادیر مختلف بارش روزانه بر مقدار رواناب در حوزه‌ی آبخیز قره‌سو در استان کرمانشاه، اکوهیدرولوژی، دوره یک، شماره دو، پاییز ۱۳۹۳، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان.

عرب خدری، م. ۱۳۷۹. تعیین رسوبدهی معلق و بار کف با استفاده از رسوب سنجی مخزن، دومین همایش ملی فرسایش و رسوب، ص۸-۱.

کبیر، آ.، بهره‌مند، ع. ۱۳۹۲. بررسی عدم قطعیت پارامترهای مدل بارش- رواناب WetSpa با استفاده از روش مونت کارلو، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره پنجم.

مرادی‌پور، ش.، بهره‌مند، ع.، زینی‌وند، ح.، نجفی‌نژاد، ع. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی توزیعی مکانی- زمانی رواناب با استفاده از مدل WetSpa در حوزه‌آبخیز طالقان، پژوهشنامه مدیریت حوزه‌آبخیز، سال ششم، شماره۱۲، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

ناصرآبادی، ف.، اسمعلی، ا. ۱۳۹۱. فرآیندهای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در مدلWetSpa، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

Bahremand, A., Corluy J., Liu Y.B., and De Smedt F. 2005. Stream flow simulation by WetSpa model in Hornad river basin, Slovakia, floods, from Defence to management edited by van Alphen, j., van Beek, E., and Taal, M., Taylor- Francis Group, London. pp: 67-74.

Bahremand, A., and De Smedt, F. 2006. Distributd hydrological modeling and Sensitivity and uncertainty analysis in Torysa watershed, Slovakia, Water Resource Management, 22: 393-408.

Bates, B. C., and Campbell, E. P. 2001.Runoff modeling.Water ResourceManagement. Res. 37:4. 937-94.

Babinski, Z. 2005. The relationship between suspended and bed load transport in river channels. In: Sediment budgets, Volume 1, Eds: Walling D.E. and A.J. Lorowitz. International Association of Hydrological Sciences, IAHS Press, , 358: 182-188.

De Smedt, F., Y.B. Liu and S. Gebremeskel. 2000. Hydrological modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information, in: C.A. Brebbia (ed.), Risk Analysis II, WTI press,Boston, 295-304.

FAO.UNDP and UNEP. 1994. Land degradation in south Asia: 1ts severity, causes and effects upon the people, World Soil Resources, Report No, 78, FAO, Rome.

Harrison C. G. A. 2000. What factor control mechanical erosion rates. Int. J. Earth Sci. (531):78-92.

Jaroslaw C., Batelaan O. 2011. Application of the WetSpa distributed hydrological model for catchment with significant contribution of organic soil. Upper Biebrza case study .Annals of Warsaw University of LifeSciences .Journal Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW. Land Reclam. 43 : 25–35

Karimi, H., Zeinivand H., Tahmasebipour N., Haghizadeh A., Miryaghoubzadeh M. 2016. Comparison of SRM and WetSpa models efficiency for snowmelt runoff simulation. Enviroment Earth Sci.75:664,p16.

Kalvandi, S.M., S.R. Khodashenas, B. Ghahreman, R. Tahmasebi and A. Boostani. 2010. Analysis of different sediment rating curves in estimation of sediment inflow to reservoirs (Case study: Doosty dam). Irrigation and Water Journal, 1(1): 10-20.

Liu Y.B., De Smedt F. 2004. WetSpa Extension, A GIS-based hydrologic model for flood prediction and watershed management, Documentation and User Manual. Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, vrijeuniversiteityBrussel, Brussels, Belgium.

Liu, Y.B., Corluy, J., Y.B., Bahremand , A., De Smedt, F., Poorova, J., and Velcicka, L. 2006. Simulation of runoff and phosphorus transport in a Carpathian catchment, slovakia, river research and Applications gournal. 22: 1009–1022.

Safari, A., F. De Smedt and F. Moreda. 2012. WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2). Journal of Hydrology, 418–419, pp 78–89.

Tavakoli, M., De Smedt, F., Vansteenkiste, Th., and Willems, P. 2014.Impact of climate change and urban development on extreme flows in the Grote Nete watershed, Belgium.Natural Hazards, vol 71, pp 2127–2142.

Vali-Khodjeini, A. and A. Mohamed. 1976. Etude du debit solideet de la sedimentation du barrage de Sefidrud. Bulletin des Sciences Hydrologiques, 206: 223-231.

Wang, Z., O. Batelaan and F. De Smedt. 1997. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa), Physics and Chemistry of the Earth, 21: 189-193.

Zeinivand, H. and F. De Smedt. 2009. Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment transport at watershed scale,World Environmental &Water Resources Congress (EWRI), 17-21 May, Kansas City, USA.

Simulation of runoff and sediment using the WetSpa model

Mehdi pajouhesh[1*], tayabe tahmasbi[2], khodayar abdollahi[3]

Abstract

Since catchment scale measurement of meteorological and hydrological factors affecting on the basin response in the form of runoff generation and sediment production is not feasible, study of governing processes under a rainfall-runoff modeling framework is necessary. In this reaserch, to understand the relationship between runoff and sediment production in Beheshtabad Basin, and generalizing the results to Alej Watershed a six years daily simulation was performed using a distributed model called WetSpa. For this purpose the basic maps and hydrologic data including peak discharge and hydrographs were used. Spatial distribution of hydrological processes was taken into account in the modeling. Moreover, another 6-years time series (unused for parametrization), were used for model validation. The simulation results showed a satisfactory good agreement between modeled both simulated runoff and sediment against observations. The Nash-Sutcliffe model efficiency57.6 for runoff and coefficient of determination 0.59 mean that the sediment-runoff relationship for any rainstorm depends on the dynamic of hydrologic processes. The results of sensitivity analysis for WetSpa model showed that ksnow, ki, kg and kss were ranked as the most sensitive parameters correspondingly. While Krain and Pmax parameters were identified as less influential parameters on the simulated hydrograph. Sensitivity of ksnow and g0 parameters is an indication for the importance of baseflow in Beheshtaba basin and the necessity of paying special consideration for its key role in hydrological modeling.

Keywords: Alej Watershed, Beheshtabad Watershed, Simulating runoff, Hydrological model, WetSpa.

[1]*Assistant Professor, Shahrekord University (Corresponding author: drpajoophesh@gmail.com)

[2]Graduate Master Watershed management ,Shahrekord University, tahmasbi.tayabe@gmail.com

[3]Assistant Professor, Shahrekord University, kabdolla2010@gmail.com